

Manual del cafetero colombiano

Investigación y tecnología para la
sostenibilidad de la caficultura

Tomo I



Manual del cafetero colombiano

Tomo I

Investigación y tecnología para la
sostenibilidad de la caficultura





Ministro de Hacienda y Crédito Público
Mauricio Cárdenas Santamaría

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural
Rubén Darío Lizarralde Montoya

Ministro de Comercio, Industria y Turismo
Sergio Díaz Granados

Director del Departamento Nacional de Planeación
Tatyana Orozco de la Cruz

COMITÉ NACIONAL

Período 1° enero/2011- diciembre 31/2014

José Eliécer Sierra Tejada

Jorge Cala Robayo

Eugenio Vélez Uribe

Fernando Castrillón Muñoz

Crispín Villazón de Armas

Javier Bohórquez Bohórquez

Fernando Castro Polanía

Iván Pallares Gutiérrez

Carlos Alberto Erazo López

Alfredo Yáñez Carvajal

Carlos Alberto Cardona Cardona

Darío James Maya Hoyos

Jorge Julián Santos Orduña

Luis Javier Trujillo Buitrago

Carlos Roberto Ramírez Montoya

GERENTE GENERAL

Luis Genaro Muñoz Ortega

GERENTE ADMINISTRATIVO

Luis Felipe Acero López

GERENTE FINANCIERO

Julián Medina Mora

GERENTE COMERCIAL

Andrés Valencia Pinzón

GERENTE COMUNICACIONES Y MERCADEO

Luis Fernando Samper Gartner

GERENTE TÉCNICO

Carlos Armando Uribe Fandiño

DIRECTOR INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Fernando Gast Harders

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

©FNC-Cenicafé - 2013

Créditos

Comité Editorial Cenicafé:

Fernando Gast H.

Ph.D. Director

Pablo Benavides M.

Ph.D. Ing. Agrónomo. Entomología

Juan Rodrigo Sanz U.

Ph.D. Ing. Agrícola. Ingeniería Agrícola

Juan Carlos Herrera P.

Ph.D. Biólogo. Mejoramiento Genético

Víctor Hugo Ramírez B.

M.Sc. Ing. Agrónomo. Fitotecnia

Marco A. Cristancho A.

Ph.D. Microbiólogo, Fitopatología

Sandra Milena Marín L.

M.Sc. Ing. Agrónomo. Divulgación y Transferencia

Asesoría Editorial

Olga Clemencia Parra C. Fundación Manuel Mejía

Edición de textos

Sandra Milena Marín L.

Diseño

Carmenza Bacca R.

Diagramación

María del Rosario Rodríguez L.

Óscar Jaime Loiza E.

Fotografías y dibujos

Cenicafé

Fundación Manuel Mejía

Gerencia Técnica FNC

Jhon Wilson Mejía M.

Impreso por

LEGIS





Dedicatoria

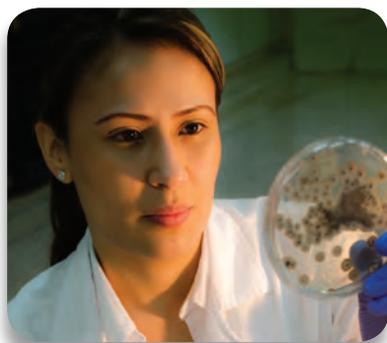
En sus 75 años, Cenicafé dedica este Manual del Cafetero Colombiano, en su versión del año 2013, a los caficultores de Colombia que han posibilitado el proceso de investigación en torno al café, de manera ininterrumpida.

A Álvaro Jaramillo R. y a Jaime Arcila Pulgarín (q.e.p.d.) un reconocimiento por haber planteado esta iniciativa a la Dirección de Cenicafé, así como a los 70 autores que participaron en esta versión del Manual del Cafetero Colombiano.

A man wearing a light-colored hat and a blue polo shirt is harvesting coffee beans in a field. He is smiling and looking down at the beans he is picking. The field is lush with green coffee plants and some banana trees in the background. The scene is framed by a yellow circular border on a red background.

Contenido

Manual del cafetero colombiano



Tomo 1

Prefacio

Presentación

Generalidades

- 17 El mercado mundial y nacional del café en el siglo XXI
- 27 Cenicafe a través de 75 años
- 47 El Servicio de Extensión acompañando la investigación para una mejor atención a los cafeteros de Colombia
- 63 Aportes de la investigación a la formación de los cafeteros
- 73 Gestión del riesgo agroclimático - Fuentes de amenaza climática para el café en Colombia
- 91 Gestión del riesgo agroclimático - Vulnerabilidad y capacidad de adaptación del sistema de producción de café

El cafeto

- 117 Taxonomía y clasificación del café
- 123 Estructura y funcionamiento de la planta de café
- 169 Variedades de café. Desarrollo de variedades

Aspectos agroecológicos

- 205 Factores climáticos que intervienen en la producción del café en Colombia
- 239 Suelos de la zona cafetera
- 267 Identificación de las principales unidades de suelos de la zona cafetera
- 285 Conservación de suelos y aguas



Tomo 2

Germinadores y almácigos

Germinadores de café

Manejo integrado de almácigos

Nutrición del café en la etapa de almácigo

Establecimiento del cultivo

Establecimiento de cafetales al sol

Establecimiento de sistemas agroforestales con café

Sistemas de producción de café en arreglos interespecíficos

Nutrición de cafetales

Manejo integrado de arvenses

Manejo integrado de enfermedades

Manejo integrado de plagas del café

Plagas del café: Broca, minador, cochinillas harinosas, araña roja y monalónion

Otros habitantes naturales del cafetal

Renovación de cafetales

Cosecha

Cosecha del café



Tomo 3

Postcosecha y subproductos del café

Proceso de beneficio

Secado solar y secado mecánico del café

Calidad del café

Manejo y disposición de los subproductos y de las aguas residuales del beneficio de café

Recursos naturales

Recursos naturales y su conservación en zonas cafeteras

Otros retos de la caficultura

Producción de semilla de café Variedad Castillo® y sus compuestos regionales

Regionalización de la calidad del café de Colombia

Café con criterios de sostenibilidad

Sistemas Integrados de Gestión en Buenas Prácticas Agrícolas

Producción de café con calidad y prevención de riesgos

Anexos

A close-up photograph of a butterfly with brown and white wings perched on a yellowish leaf. The butterfly is positioned in the upper right quadrant of the frame. Below it, a large, vibrant green leaf with prominent veins dominates the lower half of the image. The background is a soft-focus green, suggesting a lush environment. The entire scene is framed by a yellow circular border on the right side, which is set against a solid red background.

Prefacio

Desde su creación la Federación ha tenido como propósito asegurar el bienestar de los cafeteros y sus familias. Para ello, ha desarrollado una institucionalidad capaz de gestionar acuerdos, asegurar recursos y adaptarse a las condiciones cambiantes del entorno, para respaldar al productor mediante la prestación de bienes públicos sectoriales de acceso universal a la población cafetera asentada en más de la mitad de los municipios del país.

En este empeño, se destaca una de tantas decisiones que han marcado el rumbo de la caficultura, y la cual se remonta a 1938, momento en el que la Federación funda el Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé, Pedro Uribe Mejía. Desde entonces han pasado 75 años, período durante el cual la caficultura se ha visto beneficiada por la generación de conocimiento y tecnologías apropiadas, competitivas y sostenibles.

En tiempos más recientes, dentro de estos desarrollos se destacan la obtención de la Variedad Castillo® y sus componentes regionales, que han sido fundamentales para la consolidación de una caficultura climáticamente inteligente, así como el diseño de tecnologías para el beneficio ecológico del café como el Becolsub y de manera más reciente el ECOMILL®, en las que se hace evidente el interés por reducir el impacto negativo en los recursos naturales.

Así mismo, producto de la permanente articulación entre Cenicafé y el Servicio de Extensión como medio para la transferencia de tecnología a los caficultores y espacio de retroalimentación para generar conocimiento pertinente con las realidades regionales, se han desarrollado importantes iniciativas como la investigación participativa. De igual manera, la estrecha relación entre la Extensión Rural y la Investigación Científica desarrollada por la Institucionalidad Cafetera se ha visto materializada en acciones para la toma de decisiones y planificación de una caficultura sostenible, tales como el sistema de alertas tempranas de roya y broca, y la proyección semestral de la producción cafetera.

De otra parte, el Centro ha sido activo en la generación de contenidos técnicos para los programas de capacitación y educación tendientes al fortalecimiento de las capacidades de los colaboradores del Servicio de Extensión y los cafeteros.

En reconocimiento a esta labor, Cenicafé ha sido merecedor de importantes premios como “El Colombiano Ejemplar” bajo la categoría de ciencia, que le fuera otorgado por el diario El Colombiano de Medellín. También ha sido catalogado por Colciencias como Centro de Excelencia, no solo por la probidad técnica de sus

investigaciones, sino por su contribución al país en la generación de conocimiento mediante un grupo de investigadores altamente especializados en áreas del conocimiento pertinentes a la actividad científica, tecnológica y la innovación. De esta manera, Cenicafé ha aportado de manera permanente a la consolidación de la caficultura como actividad económica y al desarrollo agropecuario nacional.

Quisiera aprovechar esta oportunidad para reiterar mi agradecimiento a todos los colaboradores de Cenicafé, porque cada uno de ellos ha dado lo mejor de sí para el cumplimiento de las metas que en materia de investigación se ha propuesto el Centro. Sin su concurso habría sido imposible afianzar a Cenicafé como uno de los referentes en investigación en temas cafeteros más importantes en el mundo.

En los tres tomos que componen la presente versión del Manual del Cafetero Colombiano se incluyen contenidos relativos a aspectos de interés general sobre la caficultura, así como una gama de recomendaciones prácticas, con criterios de sostenibilidad, para cada uno de los procesos involucrados en la producción de café. De igual manera, el Manual hace una recopilación del estado del arte en materia de las investigaciones desarrolladas por Cenicafé a través de sus diferentes disciplinas.

Por lo tanto, el Manual debe ser considerado como fuente de consulta permanente por parte de los cafeteros, los colaboradores del Servicio de Extensión, así como de todos aquellos interesados en el mundo cafetero. A través de sus contenidos se espera brindar información pertinente para la correcta toma de decisiones.

Sea esta la ocasión para confirmar nuevamente nuestro compromiso con la permanencia de Cenicafé, como generador de conocimiento, tecnología e innovación para el desarrollo sostenible y competitivo de la caficultura colombiana.

Luis Genaro Muñoz Ortega

Gerente General

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia

Presentación



Al presentar el Manual del Cafetero Colombiano en su versión 2013, quisiera brevemente resaltar la importancia de esta contribución para los Cafeteros Colombianos y la Institucionalidad, así como la contribución al conocimiento del cultivo del café que hace el Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé - de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

Gracias a la visión de futuro de quienes concibieron y conformaron la Institucionalidad Cafetera ha sido posible, desde 1938, mantener un proceso continuo de investigación y generación de tecnología en torno al cultivo del café en Colombia, conocimiento que ha contribuido con las dificultades propias de la coyuntura, la complejidad y diversidad de temas en torno a la toma de decisiones en el sector cafetero.

Introducir una especie botánica de otro continente como lo fue el café, para desarrollar una nueva actividad económica en el sector rural colombiano, tiene mayores oportunidades de éxito si se hace con ciencia, que si se realiza a ensayo y error.

Desde Cenicafé queremos en sus 75 años de actividades de investigación, también hacer un reconocimiento y rendir tributo con esta obra, a todas aquellas personas que a lo largo de este tiempo han dedicado toda su capacidad personal y profesional, en algunos casos vidas enteras a la investigación de temas relacionados con el café de Colombia.

La continuidad de la investigación en el tiempo, es lo que hoy permite presentar este Manual del Cafetero, como síntesis del estado del arte de lo aprendido, consolidado en conocimiento que contribuye con el “saber hacer” de los caficultores, la base de la solidez y sostenibilidad que ha dado el prestigio a la caficultura Colombiana en el mundo.

Fernando Gast Harders

Director

Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé



Generalidades

El mercado mundial y nacional del café en el siglo XXI

Marcela Urueña Gómez

En las últimas dos décadas se han gestado grandes transformaciones en el mercado mundial del café. De un lado se acentuaron profundos cambios institucionales de alcance nacional e internacional, orientados principalmente a la liberalización del mercado. De otra parte, hubo un proceso de recomposición entre la oferta y la demanda que privilegió la concentración y el control del mercado por parte de los países consumidores y le otorgó a la agregación de valor un papel preponderante dentro de la cadena global de comercialización del café.

Esta situación a pesar de haber generado un largo ciclo de precios bajos que se extendió hasta comienzos del presente siglo, afectando a miles de caficultores en el mundo, abrió una ventana de oportunidad a los países productores para buscar la innovación y la competitividad en sus cultivos mediante la implementación de programas de certificación, orientados al mejoramiento de la calidad y la diferenciación. A través de esta estrategia se busca acceder a nichos de mercados y acercar al productor a los segmentos de mayor valor.



En la actualidad, el reto que persiste para los principales países productores no yace en la vinculación de los caficultores a dichos programas de certificación, ni en el convencimiento de sus bondades, sino en la sostenibilidad de su actividad y el diseño de estrategias audaces para enfrentar los riesgos asociados al cambio climático, la inestabilidad de los mercados, la volatilidad de los tipos de cambio y los choques externos.



Sin duda, éste es el desafío actual de la política pública sectorial, una visión de mediano y largo plazo que integre la adaptabilidad institucional, la versatilidad y la pertinencia de la investigación y la extensión, así como la capacidad del productor para superar las dificultades del entorno y los riesgos del mercado en su camino hacia el desarrollo sostenible.

Evolución del mercado mundial del café

La oferta mundial de café ha estado históricamente influenciada por los niveles de producción de Brasil, es así como desde finales de los años noventa la producción mundial se incrementó 20% alcanzando cerca de 130 millones de sacos para el año cafetero 1999/2000, la cifra más alta de la historia hasta ese momento. Esta sobreproducción estuvo determinada por dos factores: i) El incremento del área plantada en Brasil principalmente en zonas de menor riesgo climático, con mayor productividad, menores costos de producción y una estructura más empresarial; ii) La expansión acelerada de las plantaciones en Vietnam desde finales de los ochenta, promovidas por el Banco Mundial, con lo cual este país pasó de producir 1,4 millones de sacos en 1990/1991 a comercializar 11,6 millones de sacos en el año cafetero 1999/2000, es decir, cerca de diez veces más en una década.

Este crecimiento de la producción provocó un desbalance frente al consumo, estimado apenas en 100 millones de sacos, situación que afectó nuevamente los precios internacionales con caídas cercanas al 25% y desató un rápido incremento de los inventarios en los países importadores, los cuales crecieron 53% al pasar de 10,5 millones de sacos en 1999 a 16 millones en el 2000.

Como resultado, para el año cafetero 1999/2000 el mercado mundial del café registró una sobreoferta y los

países productores, con escaso poder de negociación, reaccionaron con la creación de la Asociación de Países Productores de Café (APPC) con el ánimo de establecer medidas regulatorias de la oferta mundial de grano. En sus inicios, esta iniciativa fue promovida por Brasil y Colombia para llegar a un acuerdo con los países productores, tendiente a implementar sistemas de retención de inventarios como medio para propiciar el crecimiento de las cotizaciones internacionales. La APPC debió ser liquidada en 2001 debido a la falta de cumplimiento de las metas pactadas para retención de inventarios, circunstancia a la que el mercado respondió deteriorando aun más los precios e incrementando los inventarios en poder de los países importadores.

En el año cafetero 2000/2001, el mercado continuó registrando sobreoferta y precios por debajo de USD\$ 47,8 por libra (Figura 1). Esta tendencia se prolongó hasta 2001/2002 cuando los precios alcanzaron los USD\$41 en septiembre de 2002, el promedio mensual más bajo desde 1969.

A partir del año 2002/2003 los precios reaccionaron al alza, dadas las expectativas del mercado de una contracción de la oferta como resultado del abandono de algunos cultivos en Centroamérica y África, y la reducción en 12% de la producción de Vietnam.

Así mismo, ante un panorama de constante sobreoferta, con fuertes incidencias en el deterioro de los ingresos de los productores, en 2003 la OIC y el Banco Mundial generaron una serie de recomendaciones para salir de la crisis, entre ellas:

- Corregir el desequilibrio de oferta y demanda, mediante la promoción del consumo y la generación de nuevos consumidores a través de una mejor calidad del grano, mayor diferenciación del producto y acceso a sellos de calidad e innovación en mezclas y presentaciones.
- Promover el acceso a mercados crecientes de productos certificados en los cuales son importantes no solo la calidad, sino la responsabilidad social y ambiental, y donde el consumidor final esté dispuesto a pagar más por un café sostenible, avalado por sellos internacionales.
- Reducir la dependencia de los precios mediante el fomento y apoyo financiero de programas de diversificación de los cultivos y la generación de estrategias de cobertura de riesgos.
- Impulsar la eliminación de barreras arancelarias y obstáculos al comercio (Organización Internacional del Café, 2003).

En cuanto al balance cafetero, en el año cafetero 2002/2003 la producción mundial se ubicó en 123 millones de sacos, jalonada especialmente por la alta cosecha bienal de Brasil,

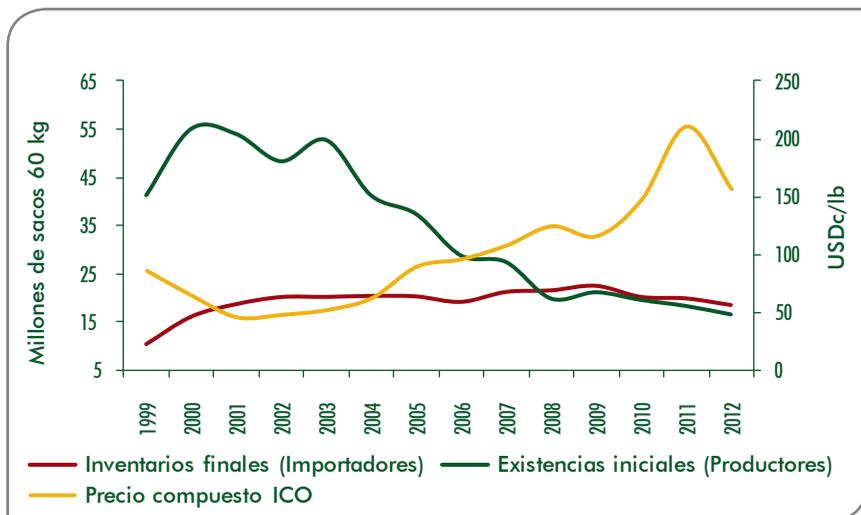


Figura 1.

Precios e inventarios mundiales de café (Fuente: OIC).

que registró una producción de 48 millones de sacos, equivalente a un incremento de 55% con relación al año anterior. Así mismo, Colombia y Vietnam alcanzaron una producción mayor a los 11 millones de sacos, lo que produjo la concentración en estos tres países del 58% de la producción mundial. Entre tanto, el consumo mundial se estimó en 111 millones de sacos, con un crecimiento anual del 2%.

Para las cosechas de los años cafeteros 2003/2004 a 2008/2009 la producción registrada se mantuvo por encima de los 106 millones de sacos, con un máximo de 128 millones de sacos y una tendencia creciente ligada a la producción bienal de Brasil y al incremento de la producción de Vietnam. En paralelo se presentó un déficit en el balance mundial como consecuencia del rápido crecimiento del consumo, situación que aceleró la disminución de los inventarios en los países productores, pasando de 53 millones de sacos en 2004 a 21 millones en 2009 (Figura 2).

Durante este período, tuvo lugar la crisis inmobiliaria en Estados Unidos que incentivó a los mercados financieros a

invertir en *commodities*, generando un aumento cercano al 15% en los precios internacionales del café durante el año 2008. Esta situación sumada al crecimiento del consumo mundial, especialmente en los países productores, acentuó aún más la estrechez en el balance cafetero mundial.

En los últimos tres años, el mercado cafetero estuvo fuertemente determinado por dos aspectos coyunturales: i) La continuidad de la crisis financiera en Estados Unidos, que repercutió en la estabilidad mundial por su impacto en algunos países europeos, y tuvo implicaciones sobre las cotizaciones internacionales que alcanzaron un máximo de USD\$231 por libra en 2011, equivalente a un incremento de 42%, con una posterior caída en 2012 de 26%; ii) Una mayor variabilidad climática, con afectaciones sobre los niveles de producción de suaves provenientes de Centro y Suramérica. En paralelo a esta situación, la producción de Vietnam pasó de 18 millones de sacos en 2008/2009 a cerca de 24 millones de sacos para 2011/2012 y la producción de Brasil a pesar de su bienalidad, cada año registró cosechas mayores registrando un aumento de 4 millones de sacos entre las bienalidades bajas de 2009/2010 a 2011/2012.

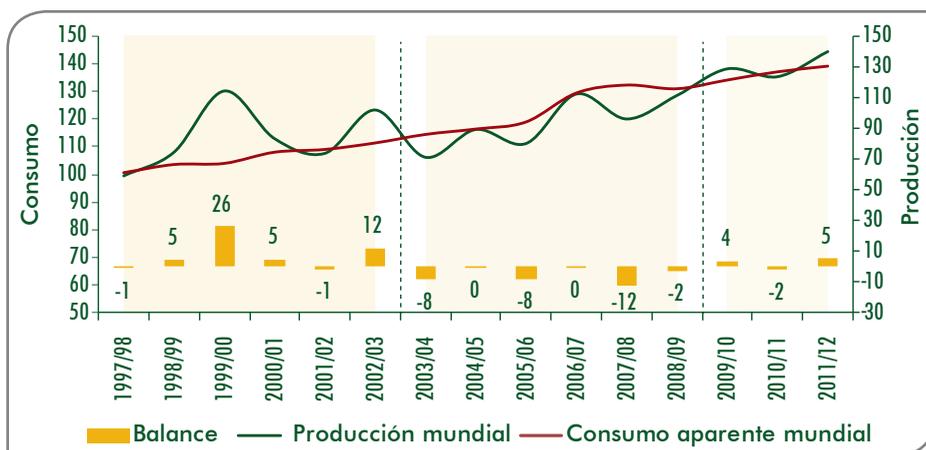


Figura 2.

Balance mundial cafetero (Millones de sacos de 60 kg) (Fuente: OIC).

El café en la economía colombiana



Por décadas, la cultura cafetera ha forjado el entorno social y económico del país, no solo en el plano del desarrollo rural, sino también como ventana de inserción de la economía local en el contexto internacional y fuente importante de divisas, que contribuyó de manera decisiva al crecimiento y modernización de la industria y el comercio nacional.

Es un hecho cierto que dentro de la estructura actual de la economía colombiana, el café no participa con la misma proporción que en términos relativos registró durante los años de 1970 y comienzos de 1980, cuando aportó cerca del 3% del PIB total y 14% del PIB agropecuario (Junguito y Pizano, 1991). Hoy el café aporta el 0,5% del PIB total (Figura 3). Sin embargo, tampoco el sector agropecuario mantuvo la misma participación, pues pasó de representar 13% del PIB total en 1990 al 6% en 2012, señalando una evidencia casi obvia en un país en vía de desarrollo: En la medida en que hay una mayor acumulación de capital, el sector primario cede peso relativo frente a las ramas de actividad con mayor agregación de valor.

Colombia ya no es un país netamente agrícola, el auge minero-energético y el desarrollo de sectores

manufacturados básicos como las industrias metalúrgica y química, impulsadas por el modelo de sustitución de importaciones, generaron una recomposición en el peso relativo de los diferentes sectores durante las últimas dos décadas. De esta forma, sectores como el financiero (20%), servicios (15%), industria manufacturera (12%), comercio (12%) y minas (8%) han ido ganando mayor terreno en detrimento del agropecuario (6%).

Ahora bien, ésta es una situación que no ocurre solo en Colombia. De acuerdo con el Departamento de Análisis Económico de Estados Unidos, el sector agropecuario aporta apenas el 1% del PIB total en ese país, mientras que en Brasil participa con el 4,5%¹ y ha retrocedido más de 1,5 puntos porcentuales en los últimos 10 años. Sin embargo, en los últimos 8 años, el valor de la producción agropecuaria de Estados Unidos creció 24% y en Brasil 67%, es decir que aunque la participación del sector agropecuario en el PIB total es menor, no por ello dejan de ser países en los que las actividades agropecuarias tienen una gran importancia social y económica, la inversión pública y privada es relevante, y por ello continúan destacándose como líderes en la producción de varios agrícolas como cereales en Estados Unidos, y café y caña de azúcar en el caso de Brasil.

En cuanto al valor de la producción, el café sigue siendo el que mayor peso tiene dentro de la canasta de productos agrícolas, reflejando un comportamiento estable superior al 15% en 2012, a pesar de la disminución coyuntural de los últimos 3 años, explicada por la caída en la producción del grano por cuenta de las alteraciones climáticas asociadas al evento del fenómeno de La Niña 2010-2012.

Más allá de lo anterior, resulta importante mencionar que la actividad cafetera, no es solamente agrícola sino que como

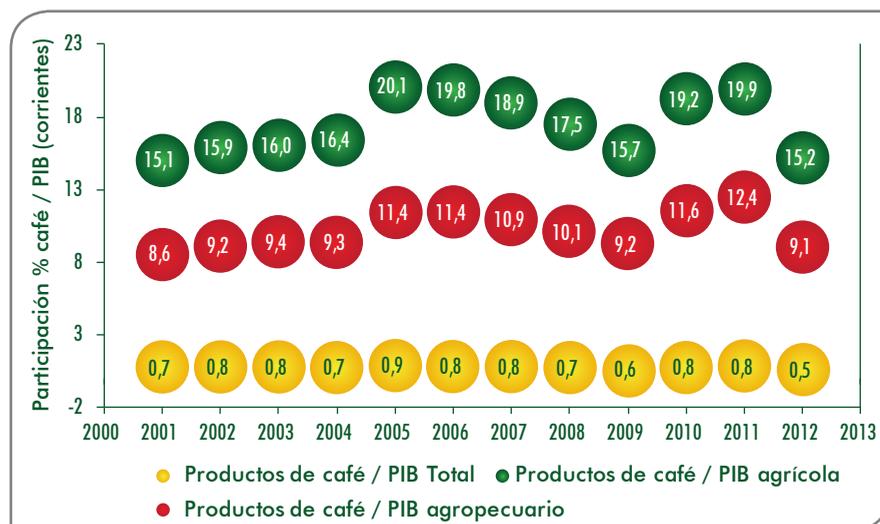


Figura 3.

Participación del sector cafetero en el PIB (Fuente: DANE).

¹ Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística. www.ibge.gov.br

cadena productiva involucra agregación de valor en los segmentos industriales, comercio, servicios y transporte, que no se reflejan de manera desagregada en el cálculo de las cuentas nacionales por sectores.

A menudo suelen usarse estos indicadores relativos para restar importancia económica a las actividades rurales, en especial a la caficultura. Sin embargo, de acuerdo con Junguito y Pizano (1991) esta estadística aunque útil, es apenas una información parcial, ya que el verdadero papel del café en el desarrollo económico va mucho más allá de esta fría comparación, tiene que ver más con la ocupación y la generación de empleo rural, el escalamiento en la agregación de valor de la cadena cafetera, la generación de divisas que se irrigan a toda la economía a través del consumo y la adecuada utilización de los recursos agroambientales, variables que en general han actuado como motor del desarrollo económico.

Además, alrededor del cultivo se ha construido un tejido social de incalculable valor en las zonas cafeteras, puesto que es la principal fuente de ingresos para más de 560 mil productores, cuyas familias compuestas por cerca de 2,7 millones de personas representan el 25% de la población rural colombiana. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el café aporta el 33% del empleo rural y es la actividad que más contribuye con la redistribución del ingreso en el campo. En 2012 el valor de la cosecha llegó a \$3,4 billones, distribuidos en 20 de los 32 departamentos del país, un flujo importante de recursos que actúan como dinamizadores de la economía regional.

La mayor incidencia de la caficultura en las zonas rurales radica en la demanda de mano de obra, la alternativa de ocupación y de ingreso que representa para un significativo porcentaje de la población rural asentada en 590 municipios del país, y su capacidad de redistribución de los ingresos y la riqueza del capital humano que tienen los productores como organización social, capaz de agenciar sus propias necesidades y de promover el desarrollo rural. De ahí la importancia de esta actividad como eje para la reducción de la pobreza y potencial generador de condiciones de paz en la zona rural.

Colombia a la vanguardia de los nuevos mercados

Uno de los desafíos más importantes que han enfrentado los productores de café de Colombia es la conocida trampa de los productos básicos, que es un rasgo estructural del mercado en el cual se desenvuelven. No obstante, éste es un reto que la Institucionalidad Cafetera ha enfrentado como ninguna otra organización de productores en el mundo, con diversas estrategias que abarcan la oferta y la demanda.

En este sentido, desde 1970, como medida para hacer frente a la trampa de los productos básicos, la Federación Nacional de Cafeteros adoptó la diferenciación como punta de lanza de su estrategia de comercialización (Reina et al., 2007).

Como principal característica de esta estrategia resalta su carácter integral, al incorporar tanto la perspectiva de la calidad del bien ofrecido como el punto de vista del consumidor y sus preferencias. No se puede desconocer que al desarrollar una calidad especial y superior de café suave, sus características son verificables directamente por el consumidor, así como a través de la trazabilidad que garantiza la Institucionalidad desde la finca hasta el puerto de embarque. Esto genera consistencia y coherencia y permite alejar el café colombiano de la masa de café estándar que se comercializa en el mundo.

Igualmente, la reconocida estrategia publicitaria desarrollada a través del personaje Juan Valdez® reforzó en los clientes-consumidores esa promesa de calidad con un mensaje muy sencillo: **El café suave colombiano no es cualquier café, es el mejor, fruto del cuidadoso esfuerzo de los caficultores colombianos.**

Así pues, con la caída de las cláusulas económicas del Acuerdo Internacional del Café y el posterior desequilibrio en el mercado mundial, los productores colombianos de la mano de la Federación orientaron sus esfuerzos a satisfacer las demandas de los consumidores prestando atención a aspectos como: El impacto ambiental de las técnicas de producción, los derechos de los trabajadores, la mayor demanda por responsabilidad corporativa, entre otros, que han jalonado la creación de nuevos segmentos o nichos diferenciados en el mercado cafetero, en los cuales el café de Colombia siempre ha estado a la vanguardia.



Esto condujo a que en 2002 la Federación asumiera las recomendaciones de la Comisión de Ajuste de la Institucionalidad Cafetera (2002) para el desarrollo de una política de reestructuración integral de largo plazo. El objetivo general fue transformar la estructura productiva, y lograr el ascenso en la cadena de valor, consolidando una actividad cafetera más competitiva y sostenible en los ámbitos económico, ambiental y social.

Estrategia de valor agregado

Comercializar de manera sostenible el café que se produce en Colombia requiere, en un mercado volátil y complejo, el establecimiento de estrategias de diferenciación y ascenso en la cadena de valor para la maximización del ingreso. Es así como en los últimos años la Institucionalidad Cafetera ha dedicado grandes esfuerzos a la promoción y posicionamiento del café colombiano; la defensa del origen como instrumento para lograr la lealtad de clientes y consumidores, y la implementación disciplinada de la estrategia para la generación de valor agregado. Esta estrategia busca crear y capturar mayor valor para el café colombiano, ofreciendo un portafolio de cafés diferenciados, que por sus condiciones de producción, características en la taza y origen, ofrecen propuestas de valor y experiencias diferentes a los clientes y consumidores.

Así, el café deja de ser una materia prima corriente para convertirse en un universo de productos, servicios y experiencias que satisfacen las necesidades de los clientes y los gustos de todos los consumidores. Como resultado, se ha generado una recomposición en las exportaciones de café, mientras que en el año 2000 tan sólo el 9% de los embarques nacionales de café estaba representado por cafés con valor agregado, en 2012 el 37% del volumen exportado correspondió a cafés especiales, procesados e industrializados.

Así mismo, desde el año 2002 el valor adicional promedio por libra de café vendida por la Federación ha crecido sustancialmente con respecto al precio del estándar. El valor total agregado generado por estas ventas alcanzó en 2012 un nivel equivalente a USD 116 millones por la comercialización de 1,6 millones de sacos. Aunque el volumen transado bajo esta categoría fue muy similar al registrado en 2011, la facturación generada por este café fue 10% superior, que equivale a un nivel récord de USD 0,73 por cada libra de café verde.

Como parte de esta estrategia, desde 2002 la Institucionalidad Cafetera ha fomentado los programas

para la producción de cafés especiales, dentro de los cuales se encuentran los cafés gourmet, los cafés regionales y los cafés sostenibles certificados y verificados, en cuyo proceso se utilizan estándares de producción sostenible. Para que un café sea considerado como especial, el productor debe recibir un sobreprecio, el cual es transferido en su totalidad para su beneficio.

Para ello, el Servicio de Extensión es el encargado de identificar tanto las zonas como los productores potenciales, así como de prestar la asesoría técnica especializada para que los productores cumplan con los requisitos exigidos por los diferentes sellos y códigos de conducta y obtengan la certificación que acredite su café. Como resultado, en 2013 más de 162 mil cafeteros producen su café en cumplimiento de estrictos estándares internacionales, bajo sellos como Rainforest Alliance, UTZ Certified, FLO, Orgánico y el Código 4C (Figura 4).



Además, se han afianzado los lazos de lealtad entre los consumidores finales y los cafeteros que producen el café que ellos disfrutan. En este empeño han resultado de especial importancia la utilización de mecanismos legales tales como las Denominaciones de Origen nacional y regional, las Indicaciones Geográficas Protegidas y las marcas de certificación, mediante las cuales se garantiza a los consumidores de café colombiano, su calidad y procedencia.

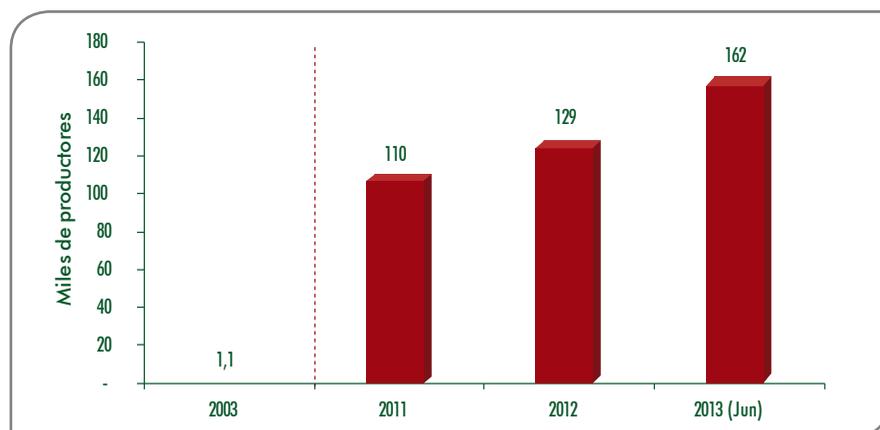


Figura 4.

Productores colombianos en programas de certificación y verificación (Fuente: FNC).

Así las cosas, el café de Colombia se encuentra protegido a través de la Denominación de Origen y los cafés de Cauca, Nariño y Huila, mediante la figura de las Denominaciones de Origen Regional. La administración y protección de estas denominaciones es ejercida por la Federación mediante delegación de la Superintendencia de Industria y Comercio. De manera adicional, el café de Colombia está protegido en el mercado de los Estados Unidos y Canadá mediante una marca de certificación y fue declarado como Indicación Geográfica Protegida (IGP) en la Unión Europea, lo que lo convierte en el primer producto agrícola producido fuera de las fronteras del bloque que cuenta con dicha protección bajo la normatividad de la Comisión Europea. De manera complementaria, el café de Colombia recientemente ha sido reconocido como Indicación Geográfica Protegida IGP en Suiza.

Para brindar respaldo técnico a estos mecanismos legales, la Federación implementó la red NIRS para la verificación del origen de todas las importaciones y exportaciones de café verde y tostado mediante seis máquinas de espectrografía, para la medición de la huella espectral o huella de los compuestos químicos, asociada a los perfiles de taza característicos del café colombiano y los cafés regionales.

Hacia una caficultura competitiva

Como parte de la reestructuración Institucional de 2002, se desarrolló una política integral de largo plazo, cuyo objetivo central era lograr una transformación de la estructura productiva, para hacerla más competitiva y mejor adaptada para hacer frente a los riesgos. A finales del siglo XX, el 43% de la estructura del parque cafetero estaba envejecido, pues los cafetales se encontraban en edades superiores a los 9 años y el 30% correspondía a cultivos tradicionales con escasa productividad y el 30% correspondía a cultivos tradicionales.

Esta situación resultante de la caída en el ingreso de los productores, fue contrarrestada con programas de renovación orientados a tecnificar el cultivo y recuperar la productividad.

La primera estrategia se desarrolló a través del Programa de Competitividad, que otorgaba un incentivo para mantener la caficultura en edad óptima de producción, consistente en la entrega de apoyos en fertilizante por cada árbol renovado. Así, desde el establecimiento del programa de competitividad de la caficultura hasta 2011, fecha en que finalizó, se entregaron recursos por más de \$372 mil millones para la renovación de más de 604 mil hectáreas.

La segunda estrategia para mantener la caficultura tecnificada y joven, se implementó en 2008 con el Programa Permanencia Sostenibilidad y Futuro (PSF), un

programa de acceso al crédito por parte de pequeños caficultores para la renovación de sus cultivos tradicionales o tecnificados envejecidos (Tabla 1). Estos créditos cuentan con un incentivo a la capitalización rural de Finagro por el 40% del capital, períodos de gracia y respaldo del Fondo de Garantías Agropecuarias (FAG) y de Fogacafé, e incluso hasta 2011, el valor de los intereses de los créditos fue asumido por el FoNC.

Como resultado del programa PSF hasta junio de 2013, se han otorgado más de 194 mil créditos por valor de \$976 mil millones, que corresponden a la renovación de más de 165 mil hectáreas.

Tabla 1.

Resultados del programa PSF (Fuente: FNC).

Año	Número de créditos	Héctareas tramitadas	Valor tramitado (Millones de pesos)
2008	11.349	8.226	38.062
2009	28.235	19.054	111.444
2010	41.236	31.304	187.643
2011	64.971	59.005	353.477
2012	39.822	38.812	232.654
2013	9.097	8.859	53.101
Total	194.710	165.259	976.380

A partir de 2011, la tercera estrategia fue la del uso de variedades resistentes como son la Variedad Castillo® y sus componentes Regionales desarrolladas por Cenicafé, con el objetivo de preparar la caficultura frente a la variabilidad climática y blindarla frente a la mayor incidencia de enfermedades como la roya del café.

Gracias a los programas de renovación y el uso de variedades resistentes, la incidencia de roya bajó de niveles de 33% en noviembre de 2010 a 5,3% en mayo de 2013, y el área sembrada en café tecnificado con variedades resistentes se duplicó en los últimos 4 años, llegando a 537 mil hectáreas (Figura 5). Además, el área tecnificada y joven corresponde al 77% del área total sembrada, con densidades de siembra promedio de 5.015 árboles por hectárea y una edad promedio de 8,2 años, lo que indica que el parque cafetero actual es más competitivo y está mejor preparado para retomar la senda de una creciente productividad.

De manera complementaria, para preparar la caficultura frente a la variabilidad climática, la Institucionalidad viene trabajando en una estrategia denominada *Caficultura climáticamente inteligente*, que se deriva de

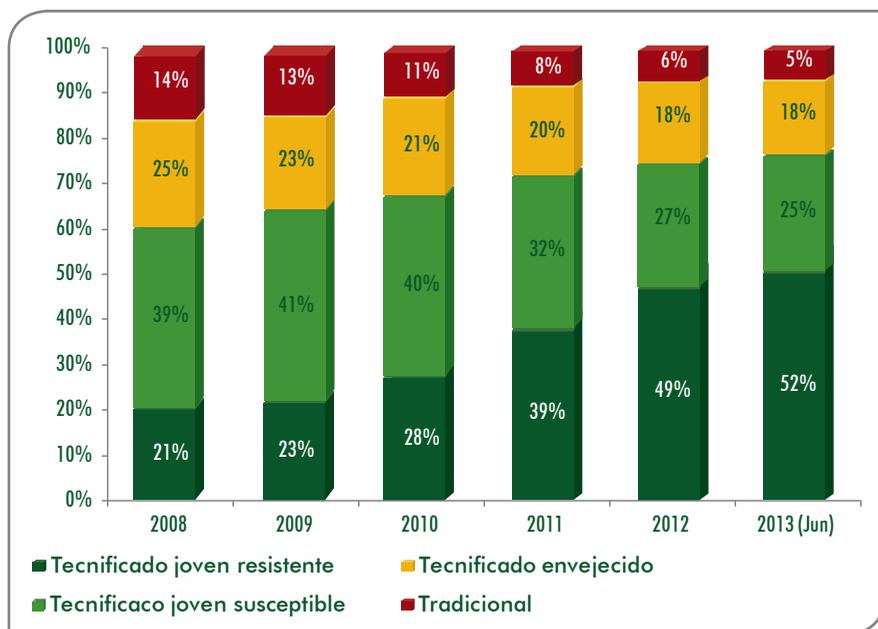


Figura 5.

Cambios en la estructura productiva
(Fuente: SICA, 2013).

las recomendaciones de la FAO que exhorta a los países a desarrollar una “agricultura climáticamente inteligente”, definida como “aquella que incrementa de manera sostenible la productividad, la resiliencia (adaptación), reduce/elimina el gas efecto invernadero y fortalece los logros de metas nacionales de desarrollo y seguridad alimentaria” (FAO, 2010).

En este sentido, la Federación ha trabajado de manera conjunta con los productores en diversas estrategias para mantener la viabilidad de la caficultura colombiana frente a un escenario climático cambiante. Para ello, con el apoyo de Cenicafé se adelantan medidas pertinentes para lograr una caficultura climáticamente inteligente, entre ellas:

- El desarrollo de nuevas variedades de café, resistentes a plagas y enfermedades, con mayor adaptación a incrementos de temperatura, oferta hídrica y de nutrientes.
- La tecnificación de los cultivos acorde con las condiciones naturales de la región mediante el establecimiento de cafetales de variedades regionales.
- Los estudios para la evaluación de la fertilidad de los suelos que tienen en cuenta la etapa de desarrollo del cultivo, su densidad y el clima en que está sembrado, y permiten identificar los niveles de nitrógeno a través de índices espectrales necesarios para el óptimo desarrollo del cultivo.
- La adopción de buenas prácticas para la conservación, prevención y recuperación de los suelos, que permitan evitar la erosión de los mismos.
- El desarrollo de programas de recuperación forestal, conservación e incorporación de la biodiversidad al

sector cafetero, mejores prácticas en el manejo de los desechos del beneficio del café y mejor uso de recursos hídricos y energía eléctrica.

- El uso de depredadores naturales para el control de plagas y el manejo integrado de arvenses para evitar la erosión del suelo.
- Uso del sombrío en los cultivos, de manera que éste sea flexible y se ajuste a las condiciones climáticas.
- Consolidación del sistema de alertas tempranas, que monitorea periódicamente los niveles de temperatura, humedad y ciclo del cultivo, y los compara con los niveles de infección de roya e infestación de broca históricos.

La adecuada implementación de estas estrategias, dependerá de una integración eficiente del circuito del conocimiento cafetero, en el cual la investigación, la extensión y la adopción del productor permitan generar un óptimo aprovechamiento de la actual estructura productiva de la caficultura, con capacidad de resistencia ante la variabilidad climática y sostenible desde el punto de vista del aprovechamiento de los recursos ambientales. De allí, la pertinencia del presente Manual del Cafetero Colombiano que Cenicafé produce con ocasión de sus 75 años.

Literatura citada

- COMISIÓN DE AJUSTE DE LA INSTITUCIONALIDAD CAFETERA. *El café, Capital Social Estratégico*. Bogotá. 2002.
- JUNGUITO, R.; PIZANO, D. *Producción de café en Colombia*. Bogotá D.C.: Fondo Cultural Cafetero - Fedesarrollo. 1991.
- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL CAFÉ. OIC. *Ideas e iniciativas surgidas en la reunión de alto nivel en mesa redonda OIC/Banco mundial del 19 de mayo de 2003, en busca de soluciones a la crisis del café*. [En línea]. Londres : OIC, 2003. Disponible en internet: <http://dev.ico.org/documents/icc88-5c.pdf>. Consultado el 25 de julio de 2013.
- REINA, M.; SILVA, G.; SAMPER, L. F.; FERNÁNDEZ, M. D. *Juan Valdez: la estrategia detrás de la marca (Primera ed.)*. Bogotá : Ediciones B Colombia, 2007.

Cenicafé a través de 75 años

Juan Mauricio Rojas Acosta; Fernando Gast Harders

Hasta mediados del siglo XX, la noción del desarrollo se centró exclusivamente en el crecimiento económico y la modernización explicados por la escuela Neoclásica, según la cual el motor del crecimiento era la inversión mediante la acumulación de capital. Autores como Rosenstein, Nurkse, Lewis y Rostow argumentaron que la modernización estaba asociada a la industrialización cuyos procesos dependían de un círculo virtuoso de la inversión, según el cual generaba un mayor valor agregado, mejor remuneración al capital, mayores tasas de ahorro y finalmente reinversión (Martinussen, 1997). A mediados de 1970, la ONU llamó la atención a los países industrializados acerca de los límites del crecimiento y el impacto sobre el medio ambiente y sobre el agotamiento de los recursos. Más tarde la Comisión Mundial de Ambiente y Desarrollo presentó el informe “Nuestro Futuro Común”, más conocido como reporte Brundtland, en el que propuso **el desarrollo sostenible como un proceso en el cual la explotación de los recursos, las inversiones y el cambio técnico e institucional son consistentes tanto con las necesidades presentes como con las futuras.**



Ahora bien, aunque el **concepto de sostenibilidad** es relativamente reciente, esta noción del desarrollo y las acciones vienen siendo aplicadas en el modelo de desarrollo cafetero desde la concepción institucional hace 85 años, la cual hoy sigue vigente en la Misión **“Asegurar el bienestar del caficultor colombiano a través de una efectiva organización gremial, democrática y representativa”**, que tiene como eje la sostenibilidad de la familia cafetera, entendida como el aporte de la organización a la generación de valor económico, social y ambiental para los cafeteros, sus comunidades y para el país.

En consecuencia las acciones y programas institucionales buscan la generación de mejores ingresos para los cafeteros colombianos, el cuidado del medio ambiente y el fortalecimiento del tejido social cafetero, compromiso que se manifiesta claramente en la visión institucional: **“Consolidar el desarrollo productivo y social de la familia cafetera, garantizando la sostenibilidad de la caficultura y el posicionamiento del café de Colombia como el mejor del mundo”**.

De acuerdo con Jacobs (1995), el **desarrollo sostenible** hace referencia a tres aspectos: La inclusión de consideraciones ambientales en la política económica, un compromiso ineludible con la equidad y el logro del bienestar económico. En este mismo sentido, la Federación ha adoptado el concepto de Triple Línea Base (Figura 1),

creado por John Elkington, consultor en responsabilidad empresarial y desarrollo sostenible, para articular diferentes acciones en las dimensiones social, económica y ambiental, relacionadas con la actividad cafetera y su entorno.

A través de la Contribución Cafetera que realizan los cafeteros al Fondo Nacional del Café, los recursos aportados son utilizados para gestionar diferentes beneficios, también denominados **Bienes Públicos**, como son:

Garantía de compra

Es la seguridad que tienen los productores que siempre habrá un comprador de café dispuesto a pagar el precio real del mercado. La garantía de compra permite al cafetero:

- Mantener la oportunidad de comercialización.
- Tener la certeza de poder vender el producto en un lugar cercano a su finca.
- Conocer de manera oportuna el precio de venta de su café, definido con base en el precio vigente en el mercado, lo que da suficiente transparencia.

Asistencia Técnica

Más de 1.500 técnicos del Servicio de Extensión, están dispuestos para contribuir a la transferencia de la tecnología generada por Cenicafe. Adicionalmente, asesoran a los

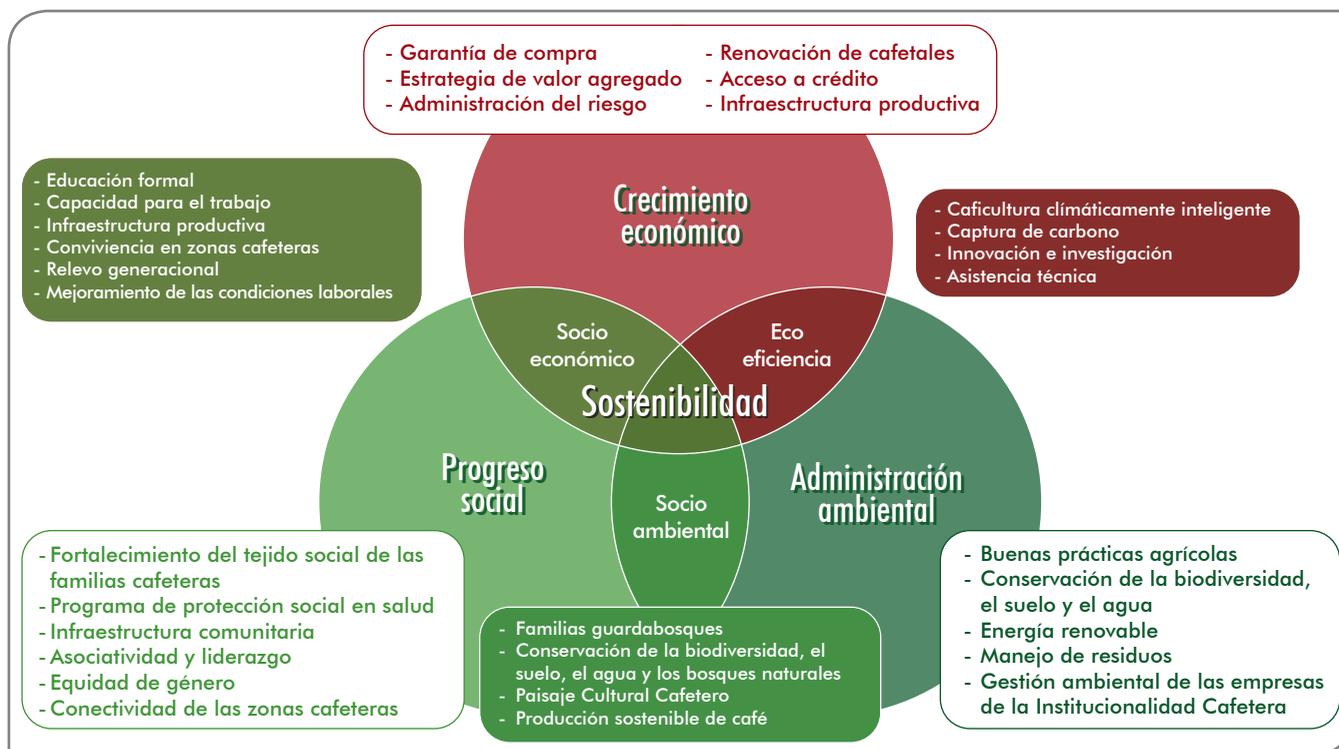


Figura 1.

Triple Línea Base de la Sostenibilidad Cafetera.

cafeteros en temas relacionados con créditos, labores comunitarias, aseguramiento de la calidad y participación democrática, entre otros.

Control de calidad al café de exportación

Orientado a garantizar a los diferentes mercados estándares de calidad del café que se exporta desde Colombia.

Promoción y publicidad

Permite asegurar que los consumidores en el mundo valoren el esfuerzo de los cafeteros colombianos y tengan los elementos de toma de decisión suficientes para pagar un mejor precio por el café de Colombia.

Investigación

El Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé se encarga de generar, bajo un enfoque de regionalización, tecnologías apropiadas, competitivas y sostenibles. Adicionalmente, tiene la responsabilidad de desarrollar variedades de café mejoradas y producir la semilla de éstas para ser distribuida a los cafeteros, a través de los Comités Departamentales de Cafeteros.



*Es así, como uno de los Bienes Públicos más importantes de la Federación Nacional de Cafeteros -FNC, es el Programa de Investigación Científica y Tecnológica, el cual bajo el liderazgo del **Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé, Pedro Uribe Mejía**, contribuye al **Plan Estratégico**, en dos propuestas de valor, de las ocho que constituyen la estrategia de sostenibilidad de la FNC.*

Competitividad e innovación

- Proveer desarrollos científicos y tecnológicos oportunos y pertinentes.
- Lograr una caficultura joven, productiva y rentable.
- Incrementar la productividad del trabajo en la caficultura.
- Mejorar la calidad del café desde la finca.
- Liderar iniciativas que generen un impacto positivo en el medio ambiente.
- Garantizar la presencia institucional a través de una extensión rural innovadora y eficaz.

Eficacia, legitimidad y democracia

- Asegurar la calidad del capital humano al interior de la organización.
- Consolidar un modelo de administración innovador, orientado al cliente y enfocado a resultados.
- Optimizar la gestión del conocimiento.

Articulación de la estrategia de sostenibilidad. Plan Estratégico Cenicafé

A partir del año 2010, la Federación Nacional de Cafeteros, inició en Cenicafé la implementación del Sistema de Gestión Integral – SGI, en dos componentes:

- **Calidad:** Al proceso misional **Desarrollar Investigación Científica y Tecnológica**.
- **Ambiental:** Al proceso **Gestionar la Estrategia**, en las sedes Planalto y la Estación Central Naranjal, en Chinchiná.

En la Figura 2, se presenta el mapa de procesos del Sistema de Gestión Integral de Cenicafé-SGI, en el cual se hace visible la articulación del Proceso Misional Desarrollar Investigación Científica y Tecnológica con el Sistema de Gestión del Servicio de Extensión de la FNC, lo que permite contribuir de manera eficiente y efectiva al desarrollo sostenible y competitividad de la caficultura colombiana.

El proceso misional **Desarrollar Investigación Científica y Tecnológica** cuenta con la estandarización del proceso y subprocesos, complementados con procedimientos e instructivos necesarios para realizar investigación:

Caracterizador de proceso:

- **Desarrollar Investigación Científica y Tecnológica**, el cual tiene como objetivo generar conocimiento y tecnologías apropiadas, competitivas y sostenibles, para el bienestar de los caficultores colombianos, facilitando su apropiación por parte del Servicio de Extensión.

Descriptores de subproceso:

- **Planear Investigación Científica y Tecnológica**, con el fin de determinar las Líneas de Investigación a desarrollar, de acuerdo con los retos y estrategia de la organización.
- **Formular y desarrollar Líneas de Investigaciones**, cuyo objetivo es contribuir a la solución de un problema real o potencial o aprovechar una oportunidad, mediante la aplicación del método científico.

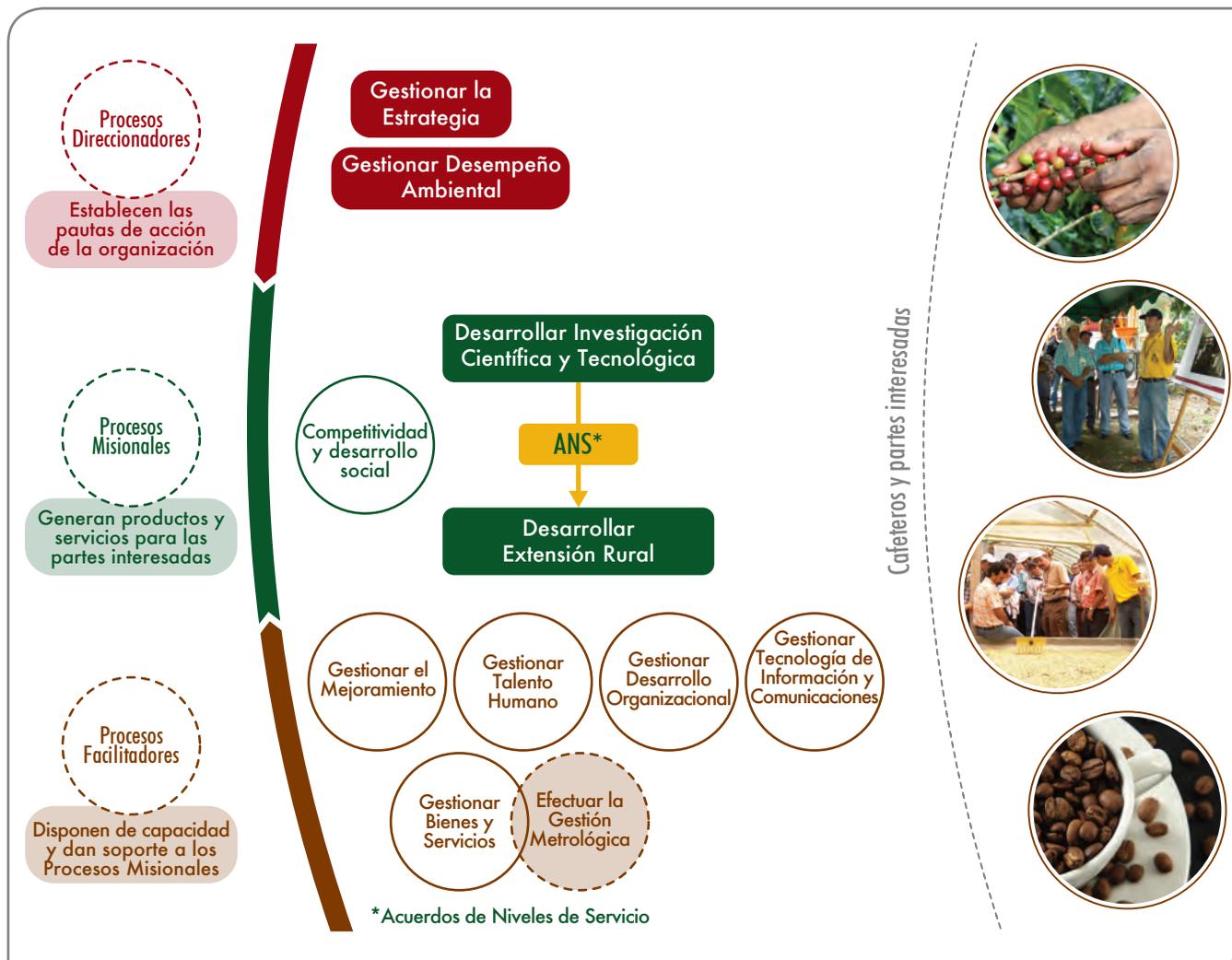


Figura 2.

Mapa de procesos del Sistema de Gestión Integral de Cenicafé y el Servicio de Extensión.

- **Divulgar productos de investigación**, el cual busca dar a conocer los productos de las Líneas de Investigación a las partes interesadas del proceso para asegurar la divulgación del conocimiento.
- **Evaluar proceso de Investigación Científica y Tecnológica**, para establecer las acciones necesarias para el mejoramiento del proceso con fundamento en la evaluación del cumplimiento de las metas y el seguimiento al proceso.

Cabe destacar, que para fortalecer el proceso **Desarrollar Investigación Científica y Tecnológica**, se dio un valor importante a la gestión metrológica, para lo cual se estructuró un subproceso específico denominado, **Efectuar la Gestión Metrológica**, con el objetivo de asegurar la confiabilidad de los instrumentos que hacen parte del desarrollo de los productos que genera el proceso de investigación.

Adicionalmente, para garantizar la trazabilidad se cuenta con una plataforma en ambiente WEB, denominada Sistema de Información y Gestión Administrativa de Proyectos e Investigaciones - SIGA, la cual es la herramienta de información tecnológica que utiliza Cenicafé para documentar la planeación, ejecución y seguimiento de la investigación. En esta plataforma se registran y documentan los subprocesos Planear, Formular y Desarrollar y Divulgar, del proceso “Desarrollar Investigación Científica y Tecnológica” y se da cuenta de la aplicación del método científico y la trazabilidad de las investigaciones llevadas a cabo.

La conformidad del SGI se verificó de acuerdo con los criterios definidos en los referentes normativos NTC ISO 9001 para el componente de calidad y la NTC ISO 14001 para el componente ambiental. La respectiva certificación fue otorgada por el Icontec en noviembre de 2011 (Figura 3).



Figura 3.

Certificaciones recibidas por Cenicafé en el año 2011. Icontec Quality Management System ISO 9001 : 2008, Icontec Environmental Management System ISO 14001 : 2004.

Cenicafé planifica y direcciona la actividad de investigación en el tiempo, mediante la estructuración de Planes Quinquenales de Investigación - PQ. Específicamente para el período 2011 - 2016, el PQ se organizó por las **Dimensiones de Sostenibilidad:** Económica, social y ambiental, con los objetivos que se describen a continuación.

Dimensión económica:

- Contribuir al mejoramiento de la productividad y rentabilidad de la caficultura colombiana.
- Aportar a la diferenciación de la producción del café de Colombia (Cambio climático, trazabilidad, denominación de origen, huella de carbono, biodiversidad, cuencas hidrográficas, huella de agua, entre otros).
- Aumentar la eficiencia de los factores de producción y mejorar la calidad del café.

Dimensión ambiental:

- Conocer, conservar y usar racionalmente los recursos naturales en los ecosistemas cafeteros.
- Proponer sistemas de producción sostenibles ambientalmente, para preservar y hacer uso racional de los recursos naturales (Suelo, agua, aire, flora y fauna) de la zona cafetera.
- Contribuir al uso sostenible y la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados del aprovechamiento de los recursos naturales en los ecosistemas cafeteros.

Dimensión social:

- Contribuir al fortalecimiento del circuito del conocimiento Investigación - Extensión - Caficultor.

- Aportar a la solución de problemas regionales o locales relacionados con el sistema de producción de café.
- Facilitar la apropiación del conocimiento y la tecnología por parte del caficultor, a través del Servicio de Extensión.

En la Figura 4, se presenta la estructura organizacional actual de Cenicafé, donde se describen de manera gráfica las diferentes áreas asociadas a la investigación y aquellas que dan soporte administrativo y financiero.

Para el año 2013, en Cenicafé laboran 260 colaboradores, con la siguiente formación académica (Tabla 1).

Tabla 1.

Formación académica de los colaboradores de Cenicafé.

Recurso Humano	Número
Doctorado	28
Maestría	41
Especialización	14
Profesionales	51
Técnicos-Tecnólogos	18
Bachiller/primaria/aprendiz	60
Total Investigadores y personal de apoyo	212

En las ocho Estaciones Experimentales de Cenicafé, ubicadas en diferentes regiones de la geografía cafetera de Colombia, Cenicafé realiza investigaciones y produce semilla de variedades resistentes a la roya del cafeto (Figura 5), que son entregadas a los cafeteros a través de los Comités Departamentales de Cafeteros.

Una historia de sostenibilidad en Cenicafé

El **Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé**, es el resultado de la visión de un grupo de **Líderes Cafeteros** que identificaron hace más de 75 años en la investigación y la experimentación, dos estrategias para contribuir a la competitividad y sostenibilidad de la caficultura colombiana. Son muchas las situaciones que han sucedido en este tiempo, que han sido protagonizadas por un número importante de personas quienes han entregado su capacidad y conocimiento en pro de aportar al bienestar de más de 560.000 familias cafeteras.

Vale la pena en esta versión del Manual del Cafetero Colombiano del 2013, dedicar un espacio para realizar un

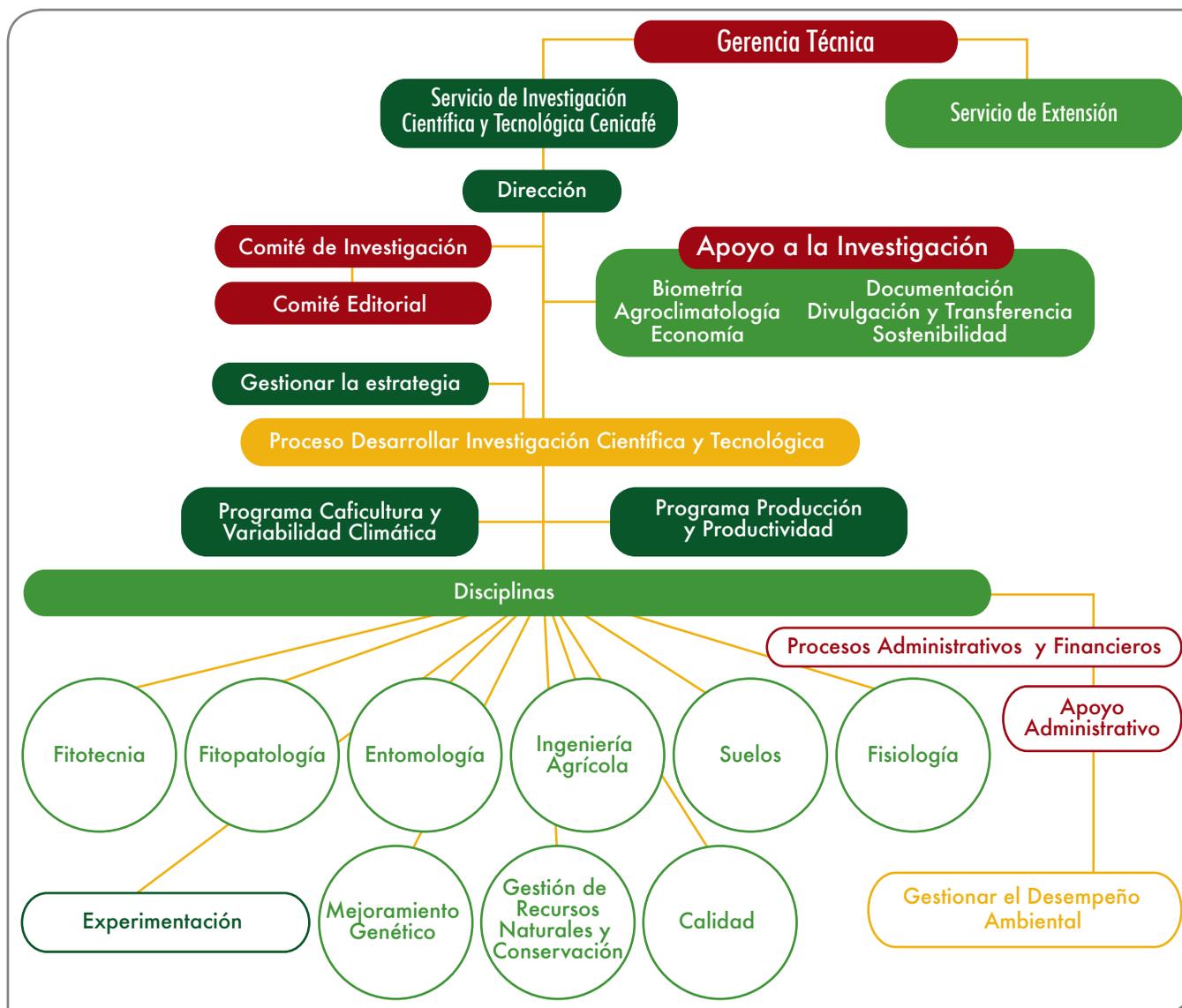


Figura 4.

Estructura organizacional de Cenicafé. 2013.

recorrido, recordar momentos y desarrollos que a través del tiempo ha generado Cenicafé, los cuales muestran que el **concepto de sostenibilidad** ha estado siempre presente en el día a día de la Federación y por supuesto de Cenicafé¹.

En 1929, en el III Congreso Nacional de Cafeteros se analizó la viabilidad de crear una Estación Experimental Central y un número de granjas-escuelas en los departamentos cafeteros.

Es así como en el mes de junio del mismo año, se presentó a consideración del Comité Nacional de Cafeteros la organización de la Granja Escuela Central de Café de la Federación, que funcionaría en los terrenos de la Estación

de la Esperanza (Ferrocarril de Girardot), con objetivos bien definidos: ... **Experimentar o investigar, demostrar todo lo que a la industria cafetera respecta.... Reducir en cuanto sea posible el costo de la producción, procurar el mayor aumento en la producción por árbol, mejorar la calidad del café y procurar la estabilidad en los resultados....**

En la Estación La Esperanza se desarrolló un plan de trabajo en las siguientes secciones: Agronomía, Agrología, Café, Sanidad Cafetera, Beneficio, Maquinaria, Ingeniería Agrícola y Estación Meteorológica. Lo anterior se complementa con un plan de estudios que inició con 40 estudiantes provenientes de todos los departamentos

¹ CENICAFÉ. Dirección de Investigación Científica y Tecnológica. Archivo Histórico Cenicafé.

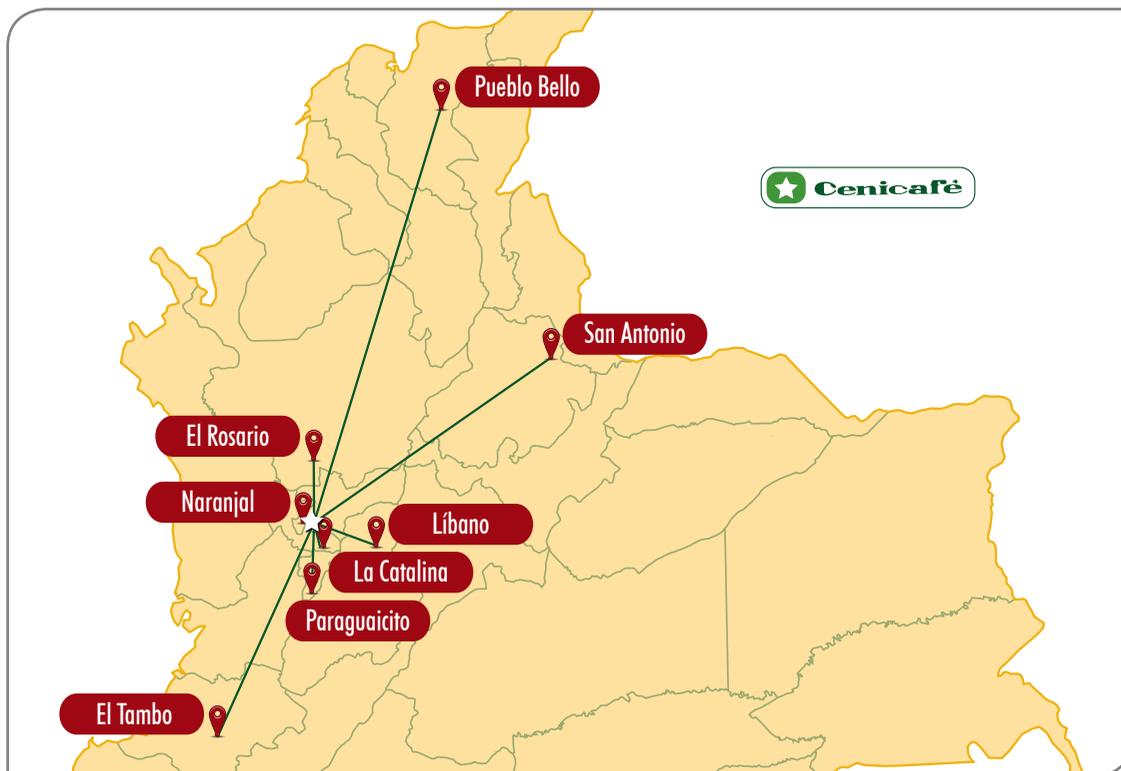


Figura 5.

Estaciones Experimentales de Cenicafé.

cafeteros y que recibieron el título de “**Experto en cultivo del Café**”.

Durante la década de 1930, se inició un proceso de organización estructural de la investigación y definición de sus labores.

En 1932 se aprobó la apertura de la Granja Escuela de Caldas, situada en el municipio de Chinchiná, bajo la dirección del Comité de Cafeteros, e inició sus trabajos de experimentación con la siembra de un lote comercial de variedad Borbón.

En 1933, la FNC contaba con cinco Granjas Cafeteras, en los departamentos de Cundinamarca (La Esperanza), Tolima (Líbano), Caldas (Chinchiná), Antioquia (Las Mercedes) y Norte de Santander (Blonay).

Para 1934, el Comité Nacional de Cafeteros definió de manera precisa las labores del Departamento Técnico de la Federación, respecto a la Sección de Investigación con las siguientes dependencias: Agronómica y de enseñanza, Entomología, Fitopatología, Química y Suelos, Genética, Beneficio y Maquinaria y Meteorología.

Se destaca en los informes de 1935, avances en trabajos realizados en diferentes temas como: Física de suelos, geología, biología, localización de plagas, inventario y clasificación de algunas clases de hormigas y un estudio

muy completo sobre una plaga denominada palomilla, algunos hongos, selección con base en las variedades de cafetos existentes en la Granja y selección de semillas de árboles para sombrío.

Estas investigaciones evidencian la preocupación permanente de los Líderes cafeteros, por el mejoramiento del proceso de investigación; es así como en el informe del Jefe del Departamento Técnico de la época, presentado al VIII Congreso Nacional Cafetero, se recomendó destinar la Granja de Caldas como Estación Central de Experimentación, por ser este departamento el mayor productor, contar con recursos financieros y destacarse en los avances de la investigación.

En 1938, en el IX Congreso Nacional Cafetero, se aprobó el Acuerdo 2/38, por el cual se reorganizaron y ampliaron los servicios técnicos de experimentación, investigación y extensión cafetera, y se creó el Centro Nacional de Investigaciones de Café.

A principios de 1939, se iniciaron los trabajos para la organización de Cenicafé, utilizando el área de la Granja Cafetera de Caldas, teniendo en cuenta las recomendaciones del geólogo suizo Paul Schaufelberger. Se adquirieron terrenos cercanos para completar un área total de 170 fanegadas. Respecto a recursos financieros, se tiene información que en 1940, en el XI Congreso Nacional Cafetero, se aprobó para la vigencia enero – diciembre de 1941, la suma de \$60.000.00 para gastos de funcionamiento

y hasta \$20.000.00 para la compra de terrenos. Además, se mantuvo el compromiso de formación de becarios, para lo cual se amplió el cupo a los Comités Departamentales de Cafeteros. Fue nombrado el doctor Ramón Mejía como Jefe del Departamento Técnico de la Federación.

En actividades específicas de Cenicafe, se destaca el inicio de campos demostrativos y de observación del sistema de producción a libre crecimiento y plena exposición solar, utilizando la variedad Mundo Novo. Se publicaron estudios en la **Revista Cafetera de Colombia** sobre la fermentación del café, bajo la autoría de Roberto Sharrer, quien era el Jefe de la Sección de Bacteriología y Biología.

Para la década de 1940 continúa el crecimiento de Cenicafe, la definición de sus dependencias y se desarrollaron campos de Cooperación en fincas para la investigación.

Para 1943, Cenicafe contaba con las siguientes dependencias:

- **Biología**, que comprendía entomología, fitopatología, genética y botánica.
- **Suelos**, con geología, agrología, microbiología del suelo, química, física y meteorología.
- **Agronomía**, con cultivo del café, cultivos adyacentes, hortalizas.
- **Zootecnia**, con selección de ganados y venta de reproductores.

Además, en este mismo año, se inició el desarrollo de trabajos en genética, con las siguientes áreas de trabajo: Selección de líneas puras, comparación cultural de clones (Plantas reproducidas asexualmente *versus* plantas reproducidas por semillas), comparación de unos y otros como patrones por injerto y cruzamientos interespecíficos.

Desde el área de Agronomía, se inició el estudio de prácticas de manejo del cultivo, libre crecimiento común, libre crecimiento ramificado (Sistemas Guatemala y Costa Rica), doble tallo, descope (Sistema Colombia), el análisis del número de cafetos por hoyo y la distancia de siembra.

Para el año 1944, Cenicafe contaba en el sector de La Granja en Manizales, con una extensión de 123 hectáreas, de las cuales 30 ha estaban en cafetales antiguos y siembras nuevas, bosques, potreros, cultivos varios, vías, instalaciones y campos deportivos.

Hacia 1945, el XIV Congreso Nacional Cafetero autorizó a Cenicafe a establecer, en el ámbito nacional, según las necesidades, campos de cooperación para desarrollar experimentos en fincas de particulares. En este mismo

año se autorizó un presupuesto de \$10.000.00 para la instalación de una estación sismológica en Chinchiná. Para este año el presupuesto del Centro fue de \$125.000.00.

1945 es importante en la historia de Cenicafe, debido a que la Federación adquiere la Hacienda Naranjal por un valor total de \$86.000.00 aproximadamente, completando así algo más de 163 ha. Debido a la ausencia de información, se iniciaron los trabajos relacionados con la respuesta del café a la fertilización, el primer proyecto "Estudio del nitrógeno solo y a varios niveles y su interrelación con el potasio".

Entre los años 1939 y 1946, Cenicafe recibió los siguientes aportes de la Federación, lo que demuestra la importancia de la Investigación Científica para la Federación.

Tabla 2.

Presupuesto de Cenicafe desde 1939 hasta 1946.

Año	Presupuesto	Pesos constantes (Inflación acumulada a julio de 2013)
1939	135.071	13.131.984.558
1940	64.270	5.973.576.645
1941	173.500	16.625.866.344
1942	84.331	8.194.265.117
1943	60.000	5.322.856.875
1944	60.000	4.476.522.632
1945	60.000	3.567.788.537
1946	125.000	6.592.975.901

Entre 1946 y 1949, se desarrollaron trabajos de investigación en diferentes áreas.

Los estudios se relacionan principalmente con:

- Especies utilizadas como sombrero permanente, *Inga*, *Acacia*, *Musa*, *Cordia*, entre otras, se destacan los resultados obtenidos con *Inga*.
- En Naranjal, en la sección de Agronomía, se desarrollaron investigaciones sobre los efectos del calcio y el potasio, solos y a varios niveles, y evaluaciones del fósforo y el potasio, sobre la producción.
- Se iniciaron estudios sobre manejo de plantaciones en el departamento del Huila y distancias de siembra en Norte de Santander.
- Iniciaron labores con sede en Cenicafe, para la **Campaña de defensa y restauración de suelos** (Noviembre de

1946). Posteriormente, el trabajo se extendió a toda la zona cafetera del país.

- La Sección de **Conservación de Suelos**, en Naranjal desarrolló proyectos para evaluar de manera cuantitativa las pérdidas de suelo causadas por la erosión en terrenos de ladera.
- En este período se inició la construcción de la infraestructura para el área administrativa y la Dirección, los laboratorios de Fisiología Vegetal y Fitopatología, la unidad para los servicios meteorológicos y sismológicos. Se amplió el área para albergar técnicos.
- La sección de Zootecnia importó ganado Pardo suizo a Colombia, con el objetivo de contribuir en el mejoramiento del abastecimiento de leche en la zona cafetera.
- Se iniciaron los primeros trabajos, con la variedad Borbón, en temas relacionados con la viabilidad económica y sistemas de cultivo.
- Se estableció la primera siembra en Naranjal, sin el uso de sombrío.
- Se iniciaron los trabajos para seleccionar y depurar genéticamente la variedad Típica, mediante selección individual y comparación entre líneas.
- En Santander y Norte de Santander se establecieron ensayos para comparar el uso de la materia orgánica (Pulpa de café y abono de establo), compost y harina de hueso.

A principios de 1950, se creó la Sección de Fisiología Vegetal, y durante los siguientes 20 años se continuó con el trabajo de investigación en diferentes temas.

Para esta época, Cenicafé, en cuanto a organización y a desarrollo de trabajos científicos, estaba a la par de otros países con vocación agrícola y contaba con una red de experimentación, acorde con las características de las regiones cafeteras. Desde entonces, se estableció que Cenicafé dependería del Departamento Técnico de la Federación, con sede en Bogotá, con las siguientes secciones:

- Agronomía
- Biología (Genética, Fitopatología, Entomología y Fisiología Vegetal)
- Química
- Química Industrial
- Geología y Suelos
- Agroclimatología
- Enseñanza
- Funciona en Cenicafé la Campaña de Defensa y Restauración de Suelos

Para este período se destacan los siguientes trabajos en diferentes áreas priorizadas de investigación:

Áreas de investigación	Trabajos realizados en la década de 1950
Fitopatología	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inicio de estudios sobre la llaga macana (<i>Ceratocystis fimbriata</i>). ▪ Estudios sobre la antracnosis del cafeto (<i>Colletotricum</i>) de muestras enviadas del departamento de Nariño. ▪ Recopilación de información sobre la etiología de la enfermedad denominada crespera. ▪ Estudios sobre la llaga negra del cafeto (<i>Rosellinia bunodes</i>, <i>Rosellinia pepo</i>), en el campo. ▪ Desarrollo de estudios sobre la mancha de hierro (<i>Cercospora coffeicola</i>) y la gotera del cafeto (<i>Omphalia flavida</i>). ▪ Trabajos sobre muerte descendente del cafeto (<i>Phoma</i>), en muestras del departamento del Cauca. ▪ Estudio de la pudrición bacteriana del plátano – <i>Erwinia</i>.
Entomología	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inicio de los estudios sobre métodos de control químico de la hormiga arriera. ▪ Control químico del complejo simbiótico palomilla – hormiga. ▪ Investigaciones relacionadas con la mosca de las cerezas del café <i>Anastrepha</i>. ▪ Se llevaron a cabo estudios sobre la arañita roja (<i>Oligonychus yothersi</i>), en el departamento de Caldas. ▪ Estudios sobre el pasador de las ramas del cafeto (<i>Xyleborus</i>) en el Valle del Cauca. ▪ Evaluación de métodos de control químico de la mosca doméstica.

Continúa...

...continuación

Áreas de investigación	Trabajos realizados en la década de 1950
Fisiología Vegetal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estudio del disturbio fisiológico, denominado cresperra. ▪ Evaluación de las causas que inhiben el desarrollo y crecimiento de árboles de sombrío. ▪ Análisis foliar y su aplicación en la nutrición mineral del cafeto. ▪ Estudios sobre el efecto de la temperatura en el crecimiento del café, bajo condiciones de campo. ▪ Determinación del área foliar, índice del área foliar y su influencia en la capacidad fotosintética del cafeto. ▪ Evaluación de la transpiración del cafeto a libre exposición y bajo sombra. ▪ Estudios relacionados con la deficiencia de boro en el cafeto y su control.
Agronomía	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estudio de los métodos de propagación de la guadua y el bambú. ▪ Investigaciones sobre el efecto de la fructificación del cafeto en las variedades Típica y Borbón. ▪ En la Granja Betania en Cundinamarca, se estudió el efecto de los fertilizantes con y sin materia orgánica, sobre la producción de café. ▪ Evaluación de la propagación vegetativa del cafeto por varias modalidades, por ejemplo, estacas enraizadas e injertos. ▪ Efectos del sombrío sobre la producción de café. ▪ En la Granja Blonay, Norte de Santander, se establecieron parcelas para comparar la producción bajo diferentes densidades de siembra. ▪ En la Granja Venecia de Antioquia, se evaluó el efecto en la producción de café pergamino seco a partir del usos de nitrógeno, potasio y fósforo, sólo y en diferentes mezclas. ▪ Estudio de los costos de producción de café en el departamento del Quindío. ▪ Evaluación de la forma del aprovechamiento de los fertilizantes por el cafeto. ▪ Se establecieron varios ensayos en la Estación Central Naranjal, para evaluar dos variedades de café, a libre exposición y bajo sombra, con y sin fertilización y dos densidades de siembra. ▪ Comparación de los efectos del descope en dos variedades de café, bajo sombra y a libre exposición. ▪ En Cundinamarca (Tibacuy), se instaló un ensayo para estudiar tres densidades de siembra. ▪ Estudio de la incidencia económica de la sustitución de un cafetal en mal estado fitosanitario y bajo sombra, por un cafetal a plena exposición, utilizando mayor densidad de siembra, fertilización, coberturas vivas y dos chupones. ▪ En la Estación Central Naranjal, se establecieron ensayos para generar recomendaciones sobre uso de fertilizantes mediante diagnóstico foliar. ▪ Estudio del efecto en condiciones de la Estación Central Naranjal, de la eliminación total del sombrío en la producción biológica del cafeto. ▪ Se destacan los resultados relacionados con el sistema de fajas autosombreadas a plena exposición solar. Se realizó en fincas de cafeteros particulares para tenerlo como demostración. ▪ En la Estación Central Naranjal se instaló el primer ensayo de zoqueo fraccionado o cíclico, con el objetivo de organizar correctamente el ciclo de fructificación del cafeto. ▪ Se desarrollaron investigaciones para calcular la eficiencia por peso (\$) invertido y los ingresos netos recibidos por la renovación y manejo de cafetales (Mayores de 35 años).

Continúa...

...continuación

Áreas de investigación	Trabajos realizados en la década de 1950
Agronomía	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis económicos de la renovación de cafetales para evaluar diferentes sistemas. ▪ Ejecución de varios tratamientos para determinar los efectos económicos de la poda fraccionada o cíclica. ▪ Evaluación del efecto de altas densidades de siembra, 1,5 x 1,0 m y 1,5 x 1,5 m, entre otras, y tres intensidades de ramas ortotrópicas. ▪ Análisis de la rentabilidad de la fertilización en experimentos en el campo con café.
Química	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trabajos sobre la fijación de potasio y fosfatos en suelos de la serie 10. ▪ Análisis químicos, biológicos y de fertilidad en suelos de la serie Chinchiná. ▪ Estudios sobre la humedad más propicia para el almacenamiento del café. ▪ Efectos de la pulpa del café descompuesta como abono. ▪ Estudio de la pulpa del café y sus bondades en el crecimiento de plántulas de café solas y en combinación con nitrógeno, fósforo y potasio. ▪ Análisis químicos y biológicos y de fertilidad en suelos del departamento del Quindío. ▪ Estudios con fósforo radioactivo, con el fin de conocer el sitio óptimo para fertilizar el cafeto.
Química Industrial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensayos para la obtención de levaduras alimenticias a partir de subproductos del café. ▪ Estudios de factibilidad para la obtención industrial de diferentes productos, proteínas, pectinas, a partir de los azúcares del café. ▪ Trabajos orientados a la obtención de gas combustible a partir de la fermentación de la pulpa de café. ▪ Desarrollo de pruebas físicas y químicas con el objetivo de correlacionar la composición química de los granos de café con la calidad de la bebida. ▪ Análisis del efecto de activadores bioquímicos en la fermentación del café. ▪ Estudios sobre el desarrollo de productos para consumo humano a partir del café, diferentes a la bebida. ▪ Fabricación de compost a partir de basuras de áreas urbanas. ▪ Evaluación de diferentes métodos de desmucilaginado y el efecto en el café pergamino seco.
Campaña de suelos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recopila información para el cálculo de diques y presas en la zona cafetera. ▪ Estudio sobre los efectos de las quemas en los suelos, serie Chinchiná. ▪ Desarrollo de proyectos tendientes al control de derrumbes. ▪ Se estructuraron programas de educación en temas relacionados. ▪ Estudio sobre la potencialidad erosiva de las lluvias dentro de un cafetal bajo sombra y a libre exposición. ▪ Estudios de clasificación agrológica de suelos para determinar su capacidad de uso y se efectuó una clasificación agrológica tentativa de los suelos de Colombia. ▪ Estudios sobre la conservación de suelos en plantaciones de café a libre exposición. ▪ Análisis de las quemas sobre la productividad de los suelos.
Agroclimatología	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estudio del microclima en cafetales bajo sombrío en la Granja Esteban Jaramillo. ▪ Análisis de la humedad relativa y la temperatura del aire y del suelo en plantaciones de café bajo sombra. ▪ Estudios estadísticos de la precipitación en Cenicafé, a partir de datos tomados desde 1942.

Continúa...

...continuación

Áreas de investigación	Trabajos realizados en la década de 1950
Agroclimatología	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis de la distribución y características de la precipitación en cafetales bajo sombra. ▪ Estudios con base en datos recolectados sobre pronósticos agrícolas a largo plazo. ▪ Análisis de condiciones óptimas para el desarrollo de la broca del cafeto.
Suelos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis estadístico de los datos de lluvia y precipitación recolectados en Cenicafé, desde la iniciación del servicio y sus correlaciones con observaciones fenológicas aplicadas al café. ▪ Estudio para la clasificación de los suelos en el departamento de Santander. ▪ Ensayos sobre el control químico de malezas establecidas. ▪ Efecto de la frecuencia de corte y la fertilización en tres tipos de pastos propios de la zona cafetera. ▪ Estudios sobre el material de origen de los suelos de la zona cafetera.
Fitomejoramiento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensayos de rendimiento de las variedades Típica y Borbón, bajo diferentes modalidades de cultivo. ▪ Estudios de las características morfológicas de las selecciones de cafetos resistentes a la llaga macana (<i>Ceratocystis</i>). ▪ Se efectuaron investigaciones sobre producción de diferentes variedades de café, Borbón amarillo y rojo, Caturra, Típica, Mundo Novo rojo.
Otros cultivos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fertilización de la caña panelera en la zona cafetera. ▪ Análisis económico en el cultivo de cacao de dos métodos de propagación, por semilla y por estacas. ▪ Estudios de comparación de híbridos de cacao, con miras a su siembra en la zona cafetera.

En cuanto a las actividades de divulgación y formación se destaca la reedición del Curso Práctico para Cafeteros, el cual recoge los logros obtenidos por Cenicafé. Este material fue elogiado en diferentes niveles de la Federación y por los propios cafeteros.

En cuanto a la estructura organizacional, fueron muchos los cambios que se dieron desde el inicio de Cenicafé, con el objetivo de optimizar las actividades de investigación o de crear nuevas áreas que puedan contribuir a la caficultura; es así como en el año 1959, el Subcomité Técnico de la Federación, creó la **Sección de Cultivos Asociados**, con el objetivo de investigar la adaptación de nuevos cultivos a la zona cafetera y contribuir a la tecnificación de los existentes. En este mismo año se adquirió parte de la Hacienda Paraguay (Conocida hoy en día como la Estación Experimental Paraguaicito), para iniciar experimentación regional en el departamento del Quindío.

Durante la década de 1960 se presentan avances en infraestructura, se desarrollan cursos de formación, ocurre una reestructuración institucional.

Hacia 1960, en infraestructura Cenicafé contaba con:

- 69 hectáreas donde funciona el Centro, las oficinas y los laboratorios, en el municipio de Manizales.
- La Hacienda Naranjal con 89 hectáreas y La Romelia con 105 hectáreas, en el municipio de Chinchiná.
- Paraguaicito con 57 hectáreas en el municipio de Buenavista, en el departamento del Quindío.
- Campos de experimentación en:
 - El Rosario, donde funciona la Subestación de Antioquia, con 15 hectáreas.
 - En Cundinamarca 5,5 hectáreas, en los municipios de El Colegio y Anolaima.

En 1964, se publicó el curso limitado para Ingenieros Agrónomos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. En esta publicación se reunieron los resultados de la investigación realizados en la Estación Central Naranjal.

En 1965 con el objetivo de generar insumos para el mejoramiento genético, se estableció la Colección Colombiana de Café.

En 1968, se editó la tercera edición del Manual del Cafetero Colombiano.

En 1969, el Subcomité Técnico de la Federación, aprobó la reorganización de Cenicafe, presentada por la Gerencia Técnica.

Las diferentes secciones quedaron agrupadas en dos Departamentos, así:

Departamento de Agronomía y Tecnología, que incluyó las secciones de:

- Café
- Cultivos asociados al café
- Beneficio del café
- Química Industrial
- Industria Animal
- Experimentación Regional

Departamento de Biología y Suelos, con las secciones de:

- Fitopatología
- Fisiología vegetal
- Entomología
- Agroclimatología
- Fitomejoramiento
- Conservación de Suelos
- Fertilidad de Suelos
- Química de Suelos
- Laboratorio de Química

Estos Departamentos dependían de la Dirección, al igual que las Secciones de Investigaciones Económicas, Biometría, Publicaciones y Biblioteca.

Para la década de 1980, Cenicafe contaba con un total de 353 empleados, distribuidos en la sede central de Cenicafe y en las Subestaciones Experimentales, además se presentaron diferentes hechos destacables.

Para esta época, los recursos financieros apropiados para su funcionamiento fueron de \$295.263.000.00 (Equivalente a \$101.898.005.188 pesos constantes, inflación acumulada a julio de 2013). Se contaba con siete Subestaciones experimentales, las cuales tenían como finalidad la comprobación de los resultados a escala regional.

Mediante convenios de cooperación se conocieron campos agronómicos y se realizaron trabajos de mejoramiento



En esa época era evidente el enlace entre las Subestaciones de Experimentación y el Servicio de Extensión, transfiriendo los resultados a los caficultores a través de diferentes métodos de divulgación y enseñanza. Adicionalmente, se establecieron pruebas regionales en las fincas de los cafeteros. Cenicafe ha mantenido permanente intercambio con diferentes entidades vinculadas con el sector agropecuario. También se realizan actividades de intercambio científico con otros centros de investigación, el desarrollo de cursos de especialización y capacitación del personal del Centro.

y selección de variedades de café, especialmente las resistentes a la roya. Adicionalmente se identifican otras actividades que realizaba Cenicafe, como son:

- **Asesoría técnica.** Asesoría a los Comités Departamentales de Cafeteros y a los caficultores, principalmente en aspectos relacionados con sanidad vegetal, diagnóstico de enfermedades, manejo del cultivo y beneficio de café.
- **Giras de agricultores.** En coordinación con el Servicio de Extensión se atendieron permanentemente giras de cafeteros, para conocer la tecnología generada por Cenicafe.
- **Análisis de suelos.** En el Laboratorio de Química se prestaban los servicios de análisis de fertilidad, base para la generación de recomendaciones adecuadas sobre la aplicación de los fertilizantes.
- **Beneficio de café.** Se aprovechan las instalaciones para prestar el servicio de beneficio del grano a productores particulares de la región. Para la época se beneficiaban 20.000 arrobas de café pergamino seco.
- **Venta de semillas.** Provee a los caficultores, variedades seleccionadas comerciales de buena calidad y producción.

En 1980, se adquirió la finca Maracay, en el municipio de Quimbaya (Quindío), con una extensión de 27 hectáreas, suelos de la unidad Montenegro y a 1.400 m de altitud, con el objetivo principal de instalar campos de propagación de la variedad Colombia, F5, resistente a la roya.

Entre 1980 y 1982 se liberó la variedad Colombia, resistente a la roya del cafeto, la cual está respaldada por cerca de 15 años de trabajo de investigadores de Cenicafé, liderados por el doctor Jaime Castillo Zapata. Esta enfermedad, se reportó por primera vez en Colombia en el año 1983.

En este período, se hizo énfasis en el fortalecimiento de capacidades para la interpretación del análisis de suelos, como base para la fertilización adecuada de los cafetales, con el fin de lograr un aumento en los niveles de eficiencia del cultivo.

En la década de 1990, se destacó la implementación del Programa de Manejo Integrado de Plagas con énfasis en control biológico, para el control de la broca del café.

Así mismo, se promovió la conservación y el uso racional de los recursos naturales, mediante diferentes recomendaciones, como el despulpado del café sin agua y el uso del tanque tina para fermentar y lavar el café.

En 1995, Cenicafé hizo entrega de la tecnología Becolsub, que permitió un ahorro de 95% del agua requerida en el beneficio del café y una reducción de 92% de la contaminación generada en este proceso.

En el proceso del secado se presentó el rastrillo, como una herramienta económica e inocua para el café. Respecto al manejo adecuado y aprovechamiento de subproductos, se dispuso de recomendaciones para la instalación de lombricultivos.

Hacia 1999, se iniciaron investigaciones para la protección de la biodiversidad en las zonas cafeteras, y para la conservación de laderas a través del manejo integrado de arvenses.

Durante la década del 2000 se evidenciaron desarrollos tecnológicos importantes.

Dentro de estos desarrollos se destacan:

- Oferta de tecnologías para el secado mecánico y solar.
- En el año 2002, Cenicafé liberó una nueva variedad de café, de porte alto y resistente a la roya del cafeto,

denominada variedad Tabi, cuyo nombre en dialecto guambiano significa “bueno”.

En el año 2003, inició el proyecto conocido como el Genoma de Café, que hasta pasada esta década generó resultados importantes relacionados con:

- La construcción del mapa genético del café.
- La secuenciación de los genomas de la roya, la broca del café y su hongo entomopatógeno controlador natural *Beauveria bassiana*.
- La identificación de razas de roya para pruebas de resistencia y selección de nuevas variedades de café.
- Las bases moleculares de la floración del café.

Desde el año 2004, se puso en funcionamiento el portal de Cenicafé – www.cenicafé.org, el cual es un referente de consulta permanente para el Servicio de Extensión y los cafeteros, respecto a la información científica y tecnológica generada por el Centro.



En el año 2005, se hizo entrega de la Variedad Castillo® resistente a la roya y sus siete componentes regionales (Definidos mediante la resolución No. 03 del 13 de mayo de 2005): Variedad Castillo® Naranjal, Variedad Castillo® El Rosario, Variedad Castillo® Paraguaicito, Variedad Castillo® La Trinidad, Variedad Castillo® Pueblo Bello, Variedad Castillo® Santa Bárbara y Variedad Castillo® El Tambo.

Desde el año 2005, Cenicafé aporta a la estrategia de la FNC, con la cual se busca reconocer la calidad de los diferentes cafés que se producen en el país bajo el concepto de Indicación Geográfica Protegida (IGP) y Denominación de Origen Protegido (DOP). Actualmente se reconoce la IGP “Café de Colombia”, y las DOP “Café de Nariño”, “Café de Cauca” y “Café de Huila”. Otras regiones se encuentran en estudios técnicos para solicitar la certificación IGP y DOP ante la Superintendencia de Industria y Comercio.

Para contribuir al tratamiento y control de la contaminación del agua, en el año 2006 se entregó la tecnología denominada Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA).

En el año 2007, se entregaron equipos para la cosecha manual asistida como el **Aroandes y el Canguaro 2M**.

A partir del año 2010, Cenicafe y el Servicio de Extensión, realizan un **diagnóstico nacional de broca y roya**, con el fin de establecer alertas tempranas para el manejo fitosanitario en los cafetales de Colombia.

En el año 2011, como contribución a las campañas de la Federación para la **renovación de cafetales por variedades resistentes**, Cenicafe desarrolló conjuntamente con la Gerencia Técnica un **protocolo para la producción de semillas en fincas de particulares, acompañado de una Guía de implementación**.

Para este mismo año, conjuntamente entre Cenicafe y la Gerencia Técnica de la Federación, se generó el **Documento estratégico para la sostenibilidad de la caficultura colombiana**.

Situación de 2008 a 2012

En los últimos años la producción de café ha disminuido de 11,5 millones de sacos en 2007, a 8,1 millones de sacos en el año cafetero de 2009 a 2010, y a 8,5 millones de sacos en el año cafetero 2010 a 2011.



*Entre los factores determinantes de la reducción de la producción de 2008 a 2012, se considera que el clima ha contribuido en forma importante, específicamente por la influencia de los eventos de La Niña y deficiencias en la aplicación de las diferentes prácticas agronómicas del cultivo. Ante este panorama la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia se impuso el reto de **recuperar, estabilizar y aumentar** la producción y la productividad de los cafetales, con sostenibilidad y calidad.*

Para alcanzar esta meta se determinó la necesidad de:

- Adelantar el **diagnóstico de la variabilidad climática** en la zona cafetera colombiana en los últimos años y de las condiciones probables para los próximos.

- Definir e implementar **alternativas de adaptación para la caficultura colombiana que contribuyan a recuperar, estabilizar y aumentar la producción y la productividad de los cafetales**, teniendo en cuenta los principales factores determinantes que inciden en la producción y la productividad bajo una óptica regional. Un aumento sostenido de la producción no se logrará sin el concurso de varias o todas las medidas que se enuncian a continuación:

- Siembra de variedades resistentes.
- La densidad y arreglo espacial de los cafetales.
- El envejecimiento y renovación de los cafetales.
- El manejo fitosanitario.
- La nutrición del cultivo de café.
- Caficultura productiva a la sombra.
- Conservación de los suelos.
- Información de alertas oportunas (Cosecha, clima, floración, broca y roya).

En noviembre del año 2012, se entregó la tecnología ECOMILL®, para la fermentación y lavado del café. Con esta tecnología se degrada el mucílago mediante la fermentación natural o aplicando enzimas pectinolíticas, y luego éste se retira de los granos empleando entre 0,3 a 0,5 L de agua por 1,0 kg de café seco, el menor valor obtenido en el beneficio del café en Colombia y en otros países productores de café lavado.

A partir del 2012, la FNC – Cenicafe y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Rural - MADR, aunaron esfuerzos para automatizar la red climática cafetera, con el objetivo esencial de preparar tecnológicamente la caficultura frente al riesgo de perder cosechas por efecto de la variabilidad climática, así como aprovechar oportunidades asociadas a ofertas climáticas positivas para el sistema de producción. En ese sentido, para finales del año 2013 la red climática de la FNC contará con más de 350 estaciones (105 automáticas) en todo el país.

En el año 2013, se desarrollaron conjuntamente con el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC, dos herramientas normativas para el cálculo y la gestión de la Huella de Carbono:

- **NTC 5947. Especificación para el análisis de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de bienes y servicios.**
- **NTC 6000. Sistemas de Gestión Ambiental. Huella de Carbono. Requisitos.**

A partir de esta información, se generó una metodología específica para la medición de la Huella de Carbono en la cadena de producción, transformación y comercialización

del café de Colombia, base para el diseño de estrategias que generen un impacto positivo al medio ambiente.

Para el año 2013, el Centro de Documentación de Cenicafé reporta información relacionada con café que incluye la producción científica del Centro (Tabla 3).

Tabla 3.

Información disponible en café en el Centro de Documentación, incluida la producción del Centro.

Productos de investigación	Número
Anuarios meteorológicos	62
Artículos en revista Cenicafé	896
Artículos en revistas extranjeras	9.125
Artículos en revistas nacionales	1.468
Avances Técnicos	429
Boletines Técnicos	67
Capítulos de libros	797
Folletos	588
Informes	529
Libros	565
Ponencias	7.429
Pósteres	288
Seminarios	942
Tesis	1.703

Reconocimientos obtenidos por Cenicafé

A través del tiempo Cenicafé ha mantenido un nivel de reconocimiento en el ámbito nacional e internacional, que le ha permitido ser merecedor de un número importante de reconocimientos, más de 60, destacándose entre los más recientes:

- Premio Nacional al Mérito Científico. Categoría Divulgación. Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia 1994.
- Premio de Ciencias Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Fundación Alejandro Ángel Escobar 1996.
- Premio Nacional de Ecología Planeta Azul. Primer Puesto Empresarial. Banco de Occidente 1997.
- Mención de Honor al Grupo de Poscosecha - Ciencias Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible - Fundación Alejandro Ángel Escobar 2000.

- The Project and Environmentally Sound Method of Coffee Fruits Processing. The New Technology BECOLSUB. Expo Hannover. 2000.
- Mención especial Icontec Premio de Normalización. Javier Henao Londoño. 2002
- Prize in Agricultural Sciences - Profesional - TWAS-2005
- Mención de Honor - Ciencias Exactas Físicas y Naturales - Fundación Alejandro Ángel Escobar. 2008
- Distinción Francisco José de Caldas. Colciencias. 2008.
- Premio Planeta Azul. Construyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana". 2011.
- El Colombiano Ejemplar. Diario El Colombiano. 2012.

Programas de Investigación

Para el año 2013, acorde con la dinámica y problemática del sector cafetero en el último quinquenio, se ajustó la estructura del Programa de Investigación y Experimentación Científica en dos Programas Estratégicos denominados **“Producción y productividad”** y **“Caficultura y variabilidad climática”**, los cuales están interrelacionados, pero guardando su individualidad en cuanto a sus objetivos, metas y actividades².

En conjunto, los Programas pretenden definir e implementar estrategias que permitan adaptar la caficultura a las condiciones cambiantes de la oferta climática, realizar los ajustes tecnológicos a los sistemas productivos y dar más competitividad a la caficultura colombiana frente al mercado cafetero global, manteniendo la calidad para la preferencia de los consumidores, articulado con el mejoramiento del medioambiente y la biodiversidad. En tal sentido y en concordancia con el Plan Estratégico de la Federación Nacional de Cafeteros, los Programas buscan contribuir en la recuperación, estabilización y aumento de la producción y productividad de la caficultura, a través de una estrategia de regionalización y de agricultura específica por sitio.

Programa Producción y Productividad

La zona cafetera colombiana se caracteriza por una gran diversidad de clima y suelos, los cuales originan una variedad de zonas agroecológicas donde se obtienen diferentes respuestas del cultivo de café; esta diversidad origina diferencias en las prácticas de manejo del cultivo y en las necesidades de recursos como agua, luz, nutrientes y presencia y manejo de problemas fitosanitarios. Bajo esta consideración, un conocimiento regional de los factores agroecológicos, geográficos y de clima ayudarán a centrar las recomendaciones tecnológicas para el manejo del cultivo y a la identificación de las fortalezas y vulnerabilidades de cada una de las zonas cafeteras del país.

² CENICAFÉ. Plan quinquenal Cenicafé. 2011 - 2016.

El actual reto de la caficultura debe hacer énfasis en la recuperación, estabilización y aumento de la producción y la productividad de los cafetales con sostenibilidad y calidad. Para contribuir a esta meta es necesario: Redefinir las zonas agroecológicas en función de la información de suelos, clima y fenología del cultivo de café, de tal forma que se definan las variedades, se ajusten los sistemas productivos y el manejo agronómico, optimizando los factores que inciden en la producción y la productividad.

Este Programa hace énfasis en aquellos componentes del sistema productivo que impactan la productividad, vía potencial de rendimiento o eficiencia en las labores del cultivo tanto de campo como de cosecha y postcosecha. Igualmente, se continúa con las líneas de investigación enfocadas en la estrategia de valor agregado, aportando conocimiento a la diferenciación del café de Colombia por el origen geográfico, variedades y a través de las modificaciones en los procesos de beneficio que ayuden a la diferenciación del perfil de taza.

A corto plazo se hará la evaluación regional de las nuevas líneas mejoradas que serán responsables de conformar las variedades de café del futuro, bajo un esquema de **“Caficultura Climáticamente Inteligente”**; para lo cual el nuevo germoplasma se sembrará en 20 regiones cafeteras del país que recogen las variaciones climáticas y de suelos

que inciden en la producción; este escenario permitirá evaluar sobre las mismas líneas, el efecto de los contrastes de exceso y déficit hídrico, temperatura, brillo solar y radiación.

Como resultado y en un espacio de 5 años, se podrá diseñar la conformación de nuevas variedades para la geografía del país, con una óptica regional o de amplia adaptación y estabilidad año tras año en su potencial productivo, así como consistencia en su taza. Paralelamente, se medirá el potencial de producción regional en función de la densidad y de los niveles de nutrición, de esta forma la liberación y entrega de nuevas variedades llevarán su recomendación de manejo agronómico.

En las investigaciones del café bajo sombrío, en una primera fase se hará un diagnóstico regional que identifique en la geografía cafetera las zonas de mayor vulnerabilidad a déficit hídrico, usando la Información del SIC@, relacionada con la ubicación geográfica de las fincas del país, la información de la **Red Climática Cafetera** y la estimación de nuevas variables que permitan medir los balances hídricos a través del año. Posteriormente, en una segunda fase se diseñarán los ensayos que permitan definir los mejores arreglos de café con sombra en las zonas más vulnerables del país.

El Programa está constituido por nueve líneas de investigación que se presentan a continuación:

Líneas de investigación Programa de Producción y Productividad	Objetivo
Conocimiento de los factores de producción a nivel regional y ajuste en los elementos del sistema.	Identificar ajustes en el sistema productivo en función del conocimiento de los factores de producción.
Identificación de la productividad potencial en diversos escenarios de oferta ambiental y ajustes del sistema de producción de café en Colombia.	Aumentar la producción y productividad del café en Colombia, a través de modelos productivos ajustados a la oferta ambiental, teniendo como referencia la producción potencial.
Aumento de la eficiencia de los factores de producción.	Aumentar la eficiencia de los factores de producción.
Consolidación de la red de distribución de semilla.	Contribuir a recuperar, estabilizar y aumentar la producción de café en Colombia, mediante el suministro suficiente y oportuno de semilla con calidad y trazabilidad, para la renovación del parque productor.
Alternativas de protección de cultivos.	Diseñar estrategias de control para los problemas biológicos más limitantes de la caficultura colombiana dentro de un programa de manejo integrado.
Evaluación del germoplasma.	Determinar la variabilidad genética del germoplasma de <i>Coffea</i> spp., con miras a identificar genotipos con características promisorias para ser utilizados en el Mejoramiento Genético de café.
Desarrollo de materiales para pruebas regionales y entrega de variedades.	Obtener variedades de café con énfasis en resistencia a factores bióticos y abióticos que limitan la producción de café.
Protección del cultivo de limitantes potenciales de la producción.	Proveer información oportuna para orientar el manejo de problemas fitosanitarios nuevos o de baja incidencia que potencialmente puedan afectar de manera significativa la producción de café.
Desarrollo de procesos para agregar valor a la calidad de café, a los subproductos y al aseguramiento de la calidad.	Generar estrategias para aumentar la productividad y la calidad del café, asegurando la sostenibilidad, basado en conocimiento científico y tecnológico.

Programa Caficultura y Variabilidad Climática

Múltiples factores secuenciales y enlazados han impactado la producción cafetera del país, que disminuyó en el último quinquenio en más de un 30%, afectando el ingreso y su redistribución para 563 mil familias productoras y para el 31% de la población agrícola que genera su ingreso de esta actividad productiva. El comportamiento climático global y su acción local, registrados a partir de eventos extremos de mayor magnitud y periodicidad, aunados a efectos acumulativos de exceso hídrico y disminución de radiación por incremento de la nubosidad, pueden ser considerados determinantes de los impactos negativos enunciados.

Los escenarios climáticos futuros presentan gran incertidumbre y la tendencia cíclica del comportamiento de la Oscilación Decadal del Pacífico muestra que en las siguientes dos décadas serán más probables los eventos húmedos extremos que secos. Este panorama indica que si bien el sector cafetero ha estado preparado para afrontar retos adaptativos frente a cambios culturales, sociales, de mercado y productivos, es necesario repotenciar la fuente primaria de obtención de información y de análisis, hacer uso de la información ya generada a través de sistematización digital y “minería” de datos, y dar continuidad a procesos en desarrollo, para la generación de nuevo conocimiento y oferta tecnológica que permita recuperar, incrementar y estabilizar la producción, a la vez que se reducen los riesgos climáticos y sanitarios, mediante acciones para la adaptación del sector frente a condiciones climáticas cambiantes.

Los modelos climáticos globales de predicción del cambio climático en el mediano y largo plazo presentan incertidumbres cuando se aplican regionalmente a nivel de Colombia, cuyos resultados se presentan en las comunicaciones nacionales (IDEAM 2012), las zonas de mayor vulnerabilidad a dichos cambios son las regiones de la ladera andina, que se asocian con las áreas de producción cafetera. Por lo tanto, es necesario profundizar y medir los cambios en sistemas productivos que conduzcan a una mejor adaptación y sostenibilidad hacia el futuro en dichas áreas.

Con base en lo anterior, el Programa de **Caficultura y Variabilidad Climática** ha definido el siguiente objetivo estratégico: “Desarrollar estrategias de adaptación para asegurar la sostenibilidad de la caficultura Colombiana frente al riesgo asociado a la variabilidad climática, basado en conocimiento científico y tecnológico”. Este Programa está constituido por tres líneas de investigación, las cuales se presentan a continuación:

Líneas de investigación Programa de Caficultura y Variabilidad Climática	Objetivos
Medición de amenazas y vulnerabilidades e identificación de oportunidades para adaptar la caficultura colombiana a la variabilidad climática.	Medir las amenazas y vulnerabilidades e identificar las oportunidades para adaptar la caficultura colombiana a la variabilidad climática.
Incremento de la certidumbre “aprender del pasado, monitorear el presente, información para el futuro”.	Incrementar la certidumbre para la toma de decisiones con respecto a la actividad productiva y gremial.
Identificación y generación de estrategias que reducen el riesgo agroclimático.	Identificar y generar estrategias para reducir el riesgo agroclimático.

Cenicafé y su Dirección Estratégica

La extensión de este capítulo no permite describir con todo el detalle lo que ha sucedido en 75 años, en lo que se refiere a trabajos desarrollados, a los aportes realizados y a destacar y hacer una mención especial a todas las personas que han colaborado en la gestión del Centro. Cabe recordar, los nombres de quienes han tenido la responsabilidad de estar al frente de la Dirección de Cenicafé (Tabla 4).

Tabla 4.

Directores de Cenicafé.

Director Investigación Científica y Tecnológica	Período
Ramón Mejía Franco	1949 - 1958
Hernán Uribe Arango	1959 - 1964
Silvio Echeverri Echeverri	1965 - 1987
Gabriel Cadena Gómez	1988 - 2009
Fernando Gast Harders	Noviembre 2009 hasta la fecha

Cada uno de ellos, con su conocimiento y experiencia han aportado de manera importante al direccionamiento estratégico de Cenicafé, articulado a los mandatos y orientaciones definidas por la Institucionalidad Cafetera.

- Cenicafé ha sido una dependencia dinámica de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, que como puede ser validado a través del tiempo ha tenido cambios y ajustes en su estructura y en el enfoque de sus actividades, con el único objetivo de atender de manera oportuna y pertinente las necesidades que desde la investigación se han requerido para dar solución a los problemas de la caficultura colombiana.
- El Programa de Investigación ha demostrado su interés de focalizar, articular y priorizar su gestión y aportes permanentes a la sostenibilidad, económica, social y ambiental de la caficultura. Puede que en el pasado no haya acuñado a este término, pero en los diferentes trabajos realizados se evidencia este enfoque, por ejemplo, desde 1950 con iniciativas como la Campaña de Defensa y Restauración de Suelos, que hoy mantienen un foco importante dentro de las actividades de investigación. Así mismo, son innumerables los ejemplos en diferentes temas que apuntan a las dimensiones de la sostenibilidad.
- Cenicafé debe mantener y fortalecer su papel como el Centro de Investigación para el desarrollo sostenible y competitivo de la caficultura. La investigación debe responder a la demanda y necesidades del sector y mantener la articulación a través de una estrategia robusta de desarrollo económico, ambientalmente sostenible y socialmente coherente, definida por la Institucionalidad Cafetera.
- Es vital mantener y fortalecer la articulación con el Servicio de Extensión, tal y como ha sido demostrado a través de la historia, para que conjuntamente se continúe en la búsqueda de soluciones bajo un enfoque de regionalización, a los problemas de la caficultura, complementado con estrategias que busquen la apropiación social del conocimiento. Esta interacción entre la investigación y la extensión hoy se evidencian en lo que se denomina el circuito del conocimiento Investigación – Extensión - Caficultor.
- Así mismo, es necesario que la investigación y el desarrollo tecnológico de la caficultura, mantengan la coordinación e integración con actores públicos y privados vinculados a la ciencia, la tecnología y la innovación, que permita el fortalecimiento de las capacidades de Cenicafé y aporte a su sostenibilidad.
- La agenda de investigación y el desarrollo tecnológico debe tener en cuenta que para el caso de los productos del sector agropecuario, están determinadas en parte por las tendencias en las formas de vida de las generaciones actuales y futuras, dentro de las que encontramos: La alta atención por la salud, la responsabilidad ambiental y social, la mayor urbanización, entre otros aspectos.
- En el tiempo, Cenicafé debe fortalecer cuantitativa y cualitativamente el potencial del recurso humano, estimulando un ambiente dinámico que motive la creatividad y la excelencia de los investigadores.
- En términos generales las características que deben distinguir a Cenicafé hoy con una visión de futuro son:
 - Investigación estratégica.
 - Planificación y ejecución de la investigación basada en agendas más flexibles para atender la demanda del sector cafetero, bajo el enfoque de regionalización.
 - Interacción entre diferentes actores de la cadena, aumentando las sinergias y el intercambio científico, evitando la duplicidad.
 - Trabajo en equipo para que los productos de la investigación tengan mayor impacto en el sector.
 - Proyectar a otros sectores la investigación del sector cafetero, para contribuir al fortalecimiento de una Cultura de la Sostenibilidad.

Literatura citada

- CADENA G., G. *Desarrollos científicos de Cenicafe en la última década. Revista Academia Colombiana de Ciencias* 29(110):89-99. 2005.
- CALLE V., H. *Producción de gas combustible por fermentación metánica de la pulpa del café. Boletín informativo* 6(66):198-205. 1955
- CAMACHO, R.R. *La estación experimental de café. Revista cafetera de Colombia* 2(9):270-271. 1929.
- CENICAFÉ. *Informe anual Cenicafe 2011. Chinchiná : CENICAFÉ, 2011. 147 p.*
- CENICAFÉ. *Informe anual Cenicafe 2012. Chinchiná : CENICAFÉ, 2012. 144 p.*
- COLCIENCIAS. *Plan estratégico: Programa nacional de ciencia y tecnologías agropecuarias; bases para una política de promoción de la innovación y el desarrollo tecnológico en Colombia 2005 - 2015. Bogotá : Colciencias, 2005. 93 p.*
- FNC. *Caficultura: modelo de paz. Documento presentado por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia al Foro "Política de Desarrollo Agrario Integral". Bogotá : FNC, 2012. 142 p*
- FNC. *Documento estratégico sostenibilidad de la caficultura colombiana. Manizales : FNC, 2011. 36 p.*
- FNC. *La obra de los expertos cafeteros. Revista cafetera de Colombia* 5(48/50):1657-1662. 1933.
- FNC. *Manual del sistema de gestión integral: Isolucion. [En línea]. Bogotá : FNC, (s.f.). Disponible en internet: <http://www.sg.cafedecolombia.com>. Consultado en junio de 2013.*
- FNC. *Sistema de información cafetera: Encuesta nacional cafetera SICA, estadísticas cafeteras, informe final. Bogotá : FNC, 1997. 178 p.*
- LÓPEZ F., H.A.; ROA M., G.; PARRA C., A. *Evaluación del equipo "Aroandes", un prototipo para la cosecha manual asistida de café. Cenicafe* 57(3):208-219. 2006.
- PLAN DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN DE MEDELLÍN 2010: *Entre todos construimos una ciudad innovadora. Medellín : Corporación RUTA : Centro de innovación y negocios, 2012. 96 p.*
- POSADA S., H.E.; LASHERMES, P.; BERTRAND, B. *Análisis del espectro químico de muestras de café verde de diferente origen geográfico usando la técnica del infrarrojo cercano NIRS. [cd rom]. Palmira : CIAT, 2005.*
- RAMÍREZ G., C.A.; OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; BUENAVENTURA A., J.D. *Cosecha manual asistida proyecto Canguaro 2M. Chinchiná : CENICAFÉ, 2011. 58 p.*
- SCHROEDER, R. *La estación meteorológica de Chinchiná. Revista cafetera de Colombia* 9(118/119) : 3494-3498. 1949.
- TOLEDO C., A. *Granja escuela central de café. Revista cafetera de Colombia* 2(11/12):389-399. 1929.
- TORO, J.P. *Cenicafe, 70 años de investigaciones. En : El Tiempo. Bogotá, Abril 18, 1998.*

El Servicio de Extensión acompañando la investigación para una mejor atención a los cafeteros de Colombia

Carlos Alberto Saldías Barreneche

En el año de 1928 la Federación inició la prestación de servicios a los caficultores a través de un servicio de Asistencia Técnica, el cual fue complementado en 1929 con la creación de la “Granja Escuela Central de Café”, con fines experimentales, demostrativos y de capacitación. Allí se formaron los primeros “Prácticos Cafeteros” quienes recorrían las zonas visitando las fincas llevando mensajes técnicos, para fomento del cultivo y mejoramiento de las plantaciones, así como programas sociales. Desde 1938 hasta 1959 la labor de asistencia técnica se amplió con el establecimiento de tres campañas básicas: Defensa y saneamiento de las plantaciones, conservación de suelos y beneficio del café, para lo cual se encontró un gran apoyo con la creación de Cenicafé (1938); adicionalmente se adelantaron programas complementarios de fertilización, granjas demostrativas y capacitación.

En 1959, el XXI Congreso Cafetero integró todas las campañas que se realizaban mediante la creación del Servicio de Extensión, el cual tiene hoy presencia en 21 departamentos cafeteros, y está constituido por cerca de 1.450 colaboradores del Servicio de Extensión, con énfasis en profesionales del sector agrícola, quienes acompañan a los caficultores y sus familias, y les prestan asistencia técnica y asesoría en otros proyectos.



Antecedentes

*“El extensionista es un dinamizador de procesos de desarrollo, que pensando primero en el Caficultor y su familia, articula en su quehacer lo gremial, lo técnico-económico y lo social, en aras de una caficultura competitiva y sostenible”.*¹



Una de las labores iniciales del Servicio de Extensión fue la definición de las zonas de trabajo y el reconocimiento de la realidad rural de cada una, a través de encuestas directas para caracterizar y precisar aspectos de producción, mano de obra, mercadeo, salud, tenencia de la tierra, vivienda, alimentación y problemas existentes en las comunidades. Hoy, el Servicio de Extensión planea, adelanta y evalúa todos los proyectos y programas que realiza basado en una información continuamente actualizada, la cual se administra a través del Sistema de Información Cafetera – SIC@ WEB.

A marzo de 2013, el Servicio de Extensión tenía presencia en 592 municipios en 21 departamentos, con 97 seccionales administradas por un Coordinador Seccional. Las seccionales se dividen en Distritos (Unidad geográfica de atención a los caficultores), son 982 distritos, cada uno de ellos atendido por un extensionista. En cada departamento cafetero existe un Líder Departamental de Extensión Rural, responsable de este personal, y a nivel nacional, existe un Líder Nacional de Extensión Rural. La Gerencia Técnica, atendiendo las directrices del Congreso Cafetero y de la Gerencia General, orienta las acciones del Servicio de Extensión, a través de programas de extensión rural que buscan el cumplimiento del actual Plan Estratégico, enmarcado en la visión y misión de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Adicionalmente, a nivel nacional y departamental, existen los Coordinadores de Programa, encargados de dirigir, orientar y administrar programas específicos de relevancia institucional y local.

En el Sistema de Gestión de la Calidad de la Federación Nacional de Cafeteros uno de los procesos misionales es el proceso Desarrollar Extensión Rural, cuyo objetivo es: Facilitar mediante procesos educativos, la adopción de tecnologías que contribuyan a la sostenibilidad de la caficultura y al bienestar del caficultor, su familia y la comunidad, promoviendo la participación en programas técnicos, económicos, ambientales y sociales.

Este servicio incluye la asistencia técnica, transferencia de tecnología y capacitación, en aspectos técnico-ambientales, económicos y sociales a través de los programas de Competitividad, Cafés Especiales, Gestión Empresarial, Crédito y Transferencia de Tecnología.

Durante muchos años la Institucionalidad Cafetera ha logrado consolidar un sistema de gestión de ciencia y tecnología agrícola denominado **Circuito del Conocimiento**, liderado por la Gerencia Técnica.

Este circuito está constituido básicamente por la interacción de cafeteros, el Servicio de Extensión, la entidad educativa Fundación Manuel Mejía y el Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé. El caficultor y su familia son el eje del trabajo, el cultivo de café es el medio que facilita el bienestar del productor, y ambos, son el centro de atención de los tres agentes.

En las últimas décadas se han fortalecido las relaciones bidireccionales, donde el caficultor no es solamente un receptor de información, sino un interlocutor. Cenicafé genera conocimientos que hace públicos entre el Servicio de Extensión y la Fundación Manuel Mejía; el Servicio de Extensión atiende a los caficultores a nivel de finca y en su comunidad; la Fundación participa en eventos adicionales, tanto presenciales como virtuales, en la capacitación de los caficultores y desarrolla actividades de capacitación y actualización con los extensionistas.

La Fundación además de capacitar a los productores cafeteros, ha desarrollado diversas metodologías virtuales para actualizar al Servicio de Extensión en temas relacionados con el cultivo y la comunidad.

El Servicio de Extensión responde por la adopción de la tecnología generada por Cenicafé a nivel de finca y por el uso de buenas prácticas que generen calidad en los procesos productivos y rentabilidad del cultivo; además, es el punto de contacto entre la organización gremial y el productor, a través de un grupo técnico calificado y capacitado.

¹ FNC – Gerencia Técnica. Cumbre de Extensión. 2004.

Para poder atender un universo de más de 563.000 productores, se utilizan diversos métodos y técnicas de extensión, tanto individuales como grupales y masivas. Por ello, son frecuentes las visitas a fincas, las visitas a la oficina, las reuniones de todo tipo, las demostraciones de método, los días de campo, los cursos cortos, los programas de radio, los periódicos rurales, los boletines y hasta la televisión, a través del programa “Las Aventuras del Profesor Yarumo”, entre otros.

El Servicio de Extensión al Servicio de los Cafeteros de Colombia

En 1959, la Federación Nacional de Cafeteros inició la organización del Servicio de Extensión bajo el principio fundamental donde el **primer recurso es el ser humano y la base del trabajo es la educación**, para buscar solución al imperativo de disminuir costos de producción y aumentar rendimientos unitarios, incluyendo los productos de diversificación e industria animal. Todo con el fin de aportar al bienestar de la familia cafetera en forma integral.

El Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros trabaja bajo la definición de Extensión Rural de la FAO (1973): *“Un sistema o servicio que mediante procedimientos educativos ayuda a la población rural a mejorar los métodos y técnicas agrícolas, aumentar la productividad y los ingresos, mejorar su nivel de vida y elevar las normas educativas y sociales de la vida rural”.*

Un extensionista de la Federación por lo tanto debe tener una excelente formación tecnológica en café, pero adicionalmente debe ser un buen comunicador, administrar sistemas de información, conocer de realidad rural y comportamiento humano, tener bases de economía, trabajar con la comunidad y apoyar al productor en su gestión administrativa, además de su función gremial.

El extensionista se convierte en un maestro respetado por las comunidades, debe tener continuidad en la zona y desarrollar funciones de liderazgo a través de los procesos educativos que emprende.

En este contexto, el Servicio de Extensión redirecciona sus actividades hacia los aspectos más relevantes de las orientaciones gremiales, las necesidades de los cafeteros y la caficultura y la competitividad agrícola, concentrando su accionar en la viabilidad de la caficultura y complementándola con el desarrollo de proyectos de seguridad alimentaria, la promoción de prácticas agrícolas no contaminantes y la construcción conjunta con los productores, de propuestas técnicamente factibles que aprovechen los recursos locales y redunden en un mejor

nivel de vida de las familias cafeteras, además de los programas de cafés especiales.

Los extensionistas deben tener cualidades diferenciales como la responsabilidad profesional, la trascendencia de la labor, el sentido de urgencia, la capacidad de servicio y el sentido del humor, características de la personalidad del extensionista que se reflejan en la imagen del Profesor Yarumo, quien es el modelo del extensionista para la Federación.

Durante su recorrido histórico el Servicio de Extensión ha pasado por múltiples estrategias destacándose el trabajo en grupos, el cual se inició en la década de 1960 con los Grupos de Amistad, base de la tecnificación de los pequeños productores de café, que hoy continúa después de pasar por grupos ecológicos, de gestión, de amas de casa, juveniles y asociativos, entre otros.

Muy reconocida fue la oportunidad de trabajar en un programa basado en dos estrategias, un servicio personalizado y otro grupal, que le permitieron ampliar la cobertura y presencia en las zonas cafeteras del país:

- La estrategia de extensión personalizada dirigida a atender los caficultores con más de 10 hectáreas de café, responsables de un importante porcentaje de la producción nacional y que adelantan una caficultura empresarial. Los extensionistas visitaban las fincas con periodicidad mensual o bimestral, implementando con el productor proyectos de gestión con visión empresarial, controlando variables como la edad, la densidad de siembra, la productividad y la calidad del café. Igualmente, se apoyaban en algunas metodologías grupales y utilizan los medios de comunicación disponibles.
- La estrategia de extensión grupal dirigida a la mayor parte de la población cafetera del país, conformada por pequeños y medianos productores, organizados por veredas, a quienes los extensionistas atendían mediante metodologías grupales para capacitarlos en tecnología y gestión individual, grupal y comunitaria, con el fin de que pudieran tomar decisiones oportunas y adecuadas en el manejo de sus fincas.

Una de las fortalezas del trabajo de extensión es que su trabajo se acompaña de un componente social, ya que el objetivo no es solamente el cultivo, sino el caficultor, su familia y su entorno.

Labor educativa del Servicio de Extensión

Para el desarrollo de su labor de capacitación, asesoría y apoyo en temas técnicos, económicos, sociales, ambientales y gremiales, así como la ejecución de los programas que ofrece el gremio a los cafeteros, el Servicio de Extensión utiliza metodologías de extensión individuales,

grupales y masivas, con miras a la adopción de las innovaciones tecnológicas que genera Cenicafé en todo lo relacionado con el cultivo, o la solución de situaciones particulares relacionadas con los renglones productivos y la finca en general.

Anualmente, el Servicio de Extensión a través del Sistema de Información Cafetera SIC@, reporta en promedio a más de un 1.114.000 cafeteros que han participado en eventos de extensión individuales y grupales en un año. El consolidado anual de labores educativas realizadas por los extensionistas durante los últimos 5 años puede observarse discriminado por año en la Tabla 1.

Cuando el extensionista utiliza metodologías individuales, busca fundamentalmente el contacto directo con el caficultor y para ello hace visitas a finca o atiende en la oficina a los caficultores de su distrito. Ambos métodos permiten la relación directa del caficultor y extensionista, y son muy valorados y utilizados por ambos. Esta actividad corresponde al 54% del total de labores de extensión ejecutadas anualmente.

Dado que el número promedio de caficultores que atiende un extensionista en un Distrito es aproximadamente de 570 a nivel nacional, las metodologías individuales no permiten contactar a todos ellos en un tiempo prudencial, por lo que la herramienta prioritaria que se utiliza para su atención es la ejecución de metodologías de extensión grupales. Los métodos más utilizados son: Reuniones, giras, días de campo, demostración de resultados, demostración de método humanizada, cursos cortos, concursos y foros. Cada uno de ellos con un objetivo específico, en función de lo que el extensionista requiera para hacer llegar a los caficultores, ya sea difusión de conocimientos, adquisición de destrezas o el logro de cambios de actitud respecto a una práctica o tecnología.

En la Tabla 2 se muestra de manera discriminada la ejecución de labores individuales y grupales en cuanto a cafeteros que participaron y eventos que se realizaron entre los años 2008 y 2012.

En promedio, en los últimos 5 años, en la zona cafetera se realizaron 33.108 actividades de extensión grupal por año, con una participación de 509.809 cafeteros, lo que representa un promedio de asistencia mayor a 15 personas por actividad.

El método grupal más utilizado siempre ha sido la reunión, con un promedio por año de 22.024 eventos realizados, con un promedio de 14,5 de asistencia de cafeteros. Este método fundamentalmente busca comunicar ideas o conocimientos y tiene algunas variables para su presentación como la conferencia, el simposio, el panel, el debate y el sociodrama, e incluso los extensionistas utilizan los estudios de caso y los grupos de discusión; el tipo de reunión a utilizar depende del objetivo de la actividad.

Le sigue la demostración de método humanizada, con un promedio de 4.579 eventos por año, con un promedio de participación de 63.361 cafeteros, es decir, 13,8 cafeteros por actividad; su objetivo principal es la adquisición de destrezas para la ejecución de una práctica de cultivo. En el caso del Servicio de Extensión la práctica incluye la repetición de la labor por parte de los asistentes a la actividad.

El método grupal que sigue en orden de actividades realizadas anualmente es el curso corto con 4.045 actividades en promedio, ejecutadas por año, con una participación total anual de 69.625 cafeteros, un promedio de 15,8 cafeteros por evento. Su propósito es el tratamiento de un solo tema, desarrollado detallada y secuencialmente por subtemas, de tal manera que permita su mayor comprensión.

Año	Métodos extensión			Total cafeteros atendidos año
	Individuales	Grupales		
	No. de cafeteros	No. de eventos	No. de cafeteros	
2012	624.848	36.967	577.175	1.202.023
2011	907.856	35.582	536.598	1.444.454
2010	524.198	36.193	502.177	1.026.375
2009	529.852	32.306	496.214	1.026.066
2008	437.278	24.494	436.880	874.158
Totales	3.024.032	165.542	2.549.044	5.573.076
Promedio	604.806	33.108	509.809	1.114.615

Tabla 1.

Consolidado anual de las labores educativas del Servicio de Extensión. 2008-2012.

Año	Individuales		Grupales			
	Visita a finca	Visita en oficina	Reuniones		Giras	
	No.	No.	No.	Personas	No.	Personas
2012	238.993	385.855	25.185	365.244	809	12.020
2011	260.141	647.715	24.254	348.195	774	11.817
2010	226.893	297.305	24.960	316.276	1.022	14.347
2009	229.136	300.716	20.886	308.970	844	15.512
2008	185.110	252.168	14.835	256.930	658	13.009
Totales	1.140.273	1.883.759	110.120	1.595.615	4.107	66.705
Promedio	228.055	376.752	22.024	319.123	821	13.341

Tabla 2.

Consolidado labores educativas del Servicio de Extensión.

Año	Grupales									
	Días de Campo		Demostraciones de resultados		Demostración de método		Cursos cortos		Concurso	
	No.	Personas	No.	Personas	No.	Personas	No.	Personas	No.	Personas
2012	1.007	38.823	221	3.565	4.143	60.159	5.227	86.968	89	1.417
2011	1.022	38.229	241	3.558	4.715	62.142	4.502	71.196	74	1.461
2010	1.286	49.117	148	1.765	4.082	48.633	4.163	54.887	99	1.952
2009	534	24.548	301	5.496	5.680	79.934	4.024	61.024	37	730
2008	428	23.899	132	2.052	4.276	65.938	4.110	74.048	55	1.004
Totales	4.277	174.616	1.043	16.436	22.896	316.806	22.026	348.123	354	6.564
Promedio	855	34.923	209	3.287	4.579	63.361	4.405	69.625	71	1.313

En cuanto al orden de eventos grupales realizados anualmente por el Servicio de Extensión siguen los días de campo, las giras y las demostraciones de resultados.

Adicionalmente, para temas específicos de importancia local o del momento, se diseñaban y realizaban cursos con los extensionistas en general.

Programa de capacitación del Servicio de Extensión

La capacitación de los extensionistas ha sido tarea permanente en la historia del Servicio de Extensión, con los diferentes temas que están directamente relacionados con su labor de campo.

La evolución en los modelos de capacitación ha sido permanente y se ha venido ajustando a través de los años a las posibilidades de tiempo y recursos. Vale la pena recordar que la Federación formaba sus propios extensionistas, mediante un curso presencial de 2 años, el cual se llevaba a cabo en la sede educativa de la Fundación Manuel Mejía, en la Vereda Naranjal de Chinchiná (Caldas) (Curso de Prácticos Cafeteros). En el mismo sitio se preparaba presencialmente a los nuevos Ingenieros Agrónomos para el Servicio de Extensión, en cursos de 3 meses de "Café y Extensión Rural".

Siempre el componente técnico de café ha correspondido a los resultados de la investigación de Cenicafé y es presentado por el respectivo investigador, ya que el Servicio de Extensión solo recomienda lo que corresponde a resultados probados en el Centro.

La Gerencia Técnica en los últimos años ha continuado bajo la misma orientación, teniendo en cuenta que se necesita mayor intensidad, debido a la alta rotación de los extensionistas que se ha venido presentando en los últimos años. La premisa ha sido "Capacitar todo el personal adscrito a la Gerencia Técnica, en aquellas áreas relacionadas con su trabajo y que adquieran las competencias para dar mejor asesoría y apoyo a los caficultores, buscando mejorar la competitividad y viabilidad de la caficultura Colombiana". Así mismo, la Gerencia Técnica ha buscado dotar de herramientas a los profesionales y técnicos del sector cafetero para una mejor toma de decisiones y solución de problemas, y finalmente contribuir al cambio

organizacional de la Institucionalidad Cafetera mediante la capacitación de sus recursos humanos al más alto nivel.

Con el apoyo de Cenicafé en la construcción de contenidos de todos los cursos técnicos, la Fundación Manuel Mejía en el diseño, emisión, seguimiento y registro académico de los cursos emitidos y el SENA aportando su plataforma virtual, se logró desde el año 2003 desarrollar un nuevo “Plan de capacitación” que incluye temas técnicos económicos, sociales y gremiales, el cual involucró todo el Servicio de Extensión del país, los investigadores de Cenicafé y los empleados de la Fundación Manuel Mejía². El plan de estudios definido actualmente se presenta en la Figura 1.

El programa ha tenido 13 emisiones, con 18 cursos diferentes, con un total de 17.856 estudiantes, que han tomado varios de los cursos descritos en el plan de estudios anterior. En la Tabla 3 se puede observar la evolución del plan; es así como quien reprueba un curso debe repetirlo y las cancelaciones se dan por diferentes causas, las cuales deben ser justificadas. El consolidado de emisión por áreas, se presenta en la Tabla 4.

Durante los años 2011 y 2012, la Gerencia Técnica mantuvo su programa de capacitación virtual, y con el apoyo de los investigadores de Cenicafé y la Fundación Manuel Mejía desarrolló cursos más cortos que respondieran a nuevas situaciones.

Para el año 2011 se emitieron los cursos de Fertilización de Cafetales, Cafetales productivos, Manejo Integrado de Roya y Sistema de Información Cafetera SICA, los resultados consolidados por departamento se muestran en la Tabla 5.

Finalmente, para el año 2012 se emitieron cursos de: Fertilización de cafetales, Manejo integrado de broca, Manejo integrado del sistema agroforestal cafetero, Retos en la conservación de suelos y aguas en zonas de ladera y Manejo integrado de plagas y enfermedades asociadas a la variabilidad climática (Tabla 6).

Articulación del Servicio de Extensión y Cenicafé en el proceso de transferencia y solución de problemas de la caficultura

De acuerdo con la estructura organizacional de la Federación Nacional de Cafeteros-FNC, los procesos Desarrollar Extensión Rural y Desarrollar Investigación Científica y Tecnológica, están bajo la coordinación de la Gerencia Técnica (Figura 2); cada uno de estos procesos desarrolla actividades complementarias que tienen como objetivo principal contribuir a la competitividad y sostenibilidad de las empresas cafeteras en las diferentes regiones del país.

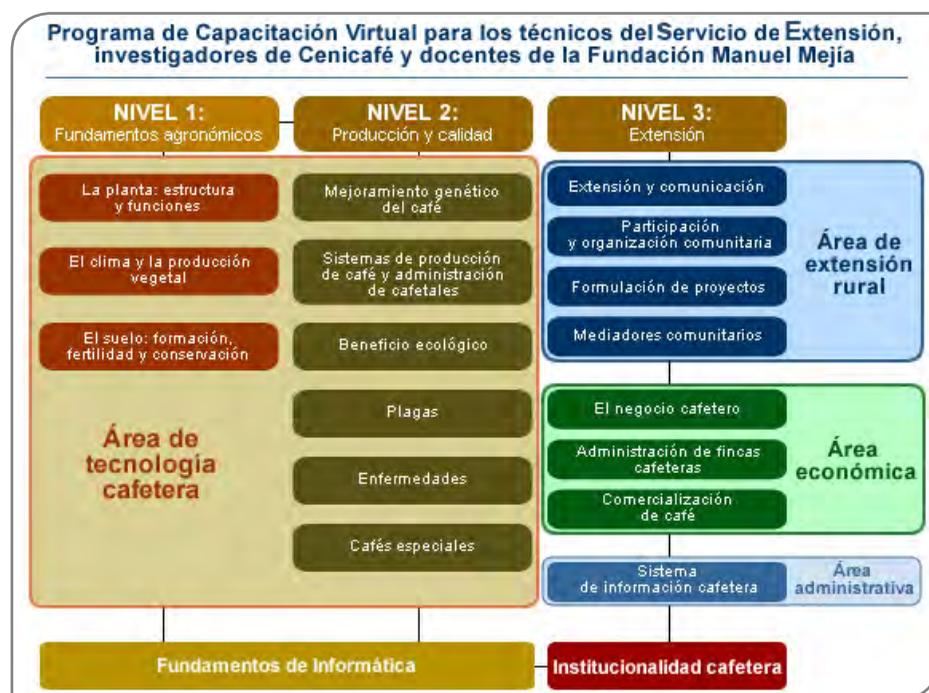


Figura 1.

Programa de capacitación virtual para técnicos del Servicio de Extensión, investigación y docentes de la FMM.

² Fundación Manuel Mejía – Programa de Capacitación Virtual para Extensionistas, Investigadores de Cenicafé y Empleados de la Fundación Manuel Mejía – Propuesta Técnica y Económica – Marzo de 2005.

Tabla 3.

Programa de capacitación virtual de la Gerencia Técnica. Evolución del programa 2003 - 2010.

Curso	Año								Total participantes inscritos	Total aprobados	Total Cancelaciones	Total reprobados
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010*				
No. Participantes												
La planta: estructura y funciones	26	206	402	373	194	156	143	82	1.582	1.248	51	283
El clima y la producción vegetal	26	220	370	424	198	154	144	82	1.618	1.309	56	253
El Suelo: Formación, fertilidad y conservación	0	0	270	412	154	155	144	162	1.334	1.225	34	75
Sistemas de producción de café	0	0	0	34	252	215	251	80	832	789	14	29
Beneficio ecológico	0	0	0	0	0	76	288	238	602	586	14	2
Extensión y comunicación	0	0	29	238	376	231	290	163	1.327	1.157	29	141
Participación y organización comunitaria	0	0	0	39	120	150	148	83	540	499	12	29
Formulación de proyectos	0	0	39	426	249	159	150	81	1.104	912	71	121
Mediadores comunitarios	0	0	0	0	133	157	147	81	518	476	9	33
El negocio cafetero	0	0	0	0	132	155	220	162	669	623	10	36
Administración de fincas	0	0	0	40	241	292	209	81	863	778	28	57
Sistemas de información cafetera	0	0	0	0	197	307	290	158	952	856	30	66
Café especiales y Utz Certified	0	0	0	0	139	163	140	0	442	415	4	23
Certificación Rainforest Alliance	0	0	0	0	64	154	71	0	289	271	9	9
Informática básica (SENA)	276	154	0	0	0	0	0	0	430	243	0	68
Fundamentos de informática	0	0	748	279	344	262	489	125	2.247	1.904	29	314
Institucionalidad cafetera	0	0	1.184	490	344	248	173	0	2.439	2.137	28	274
Taller de refuerzo en fertilización de cafetales	0	0	0	0	0	0	0	68	68	57	5	6
Total	328	580	2.979	2.755	3.237	3.034	3.297	1.646	17.856	15.485	433	1.819

* Para el año solo se realizó la emisión en el primer semestre del año. Para el caso del curso de Informática que inicialmente ofreció el SENA no fue posible consolidar los resultados de 119 estudiantes por ello la diferencia.

Cursos que se emiten por área	Año	
	2003 - 2010	
	Estudiantes inscritos	Participación (%)
Área técnica (8 cursos)	6.767	37,90
Área social (4 cursos)	3.489	19,54
Área económica (2 cursos)	1.532	8,58
Sistemas de informática cafetera (1 curso)	952	5,33
Institucionalidad Cafetera (1 curso)	2.439	13,66
Fundamentos de informática (1 curso)	2.677	14,99
Totales	17.856	100

Tabla 4.

Evolución del programa de capacitación virtual de la Gerencia Técnica. 2003 - 2010.

Tema del taller	Totales	Aprobados	Reprobados	Retiros	Cancelaciones
Fertilización de cafetales	297	295	2	0	0
Cafetales productivos	648	611	30	0	7
Manejo integrado de roya	598	572	25	0	1
Sistema de información cafetera	1.241	1.198	12	31	0
Totales año 2011	2.784	2.676	69	31	8

Tabla 5.

Programa de capacitación virtual de la Gerencia Técnica 2011.

Tema del taller	Totales	Aprobados	Reprobados	Retiros	Cancelaciones
Fertilización de cafetales	79	67	12	0	0
Curso virtual manejo integrado de la broca del café	1.153	1.129	14	6	4
Manejo integrado del sistema agroforestal cafetero	1.155	1.120	28	6	1
Retos en la conservación de suelos y agua en zonas de ladera	1.163	1.133	10	13	7
Manejo integrado de plagas y enfermedades asociadas a la variabilidad climática	1.157	1.121	22	9	5
Totales año 2012	4.707	4.570	86	34	17

Tabla 6.

Programación de capacitación virtual de la Gerencia Técnica 2012.

A partir de los desarrollos científicos y tecnológicos generados por Cenicafé, se pretende conjuntamente con el Servicio de Extensión:

- Contribuir al fortalecimiento del circuito del conocimiento Investigación - Extensión - Caficultor.
- Divulgar y transferir tecnología:
 - Aportar a la solución de problemas regionales o locales relacionados con el sistema de producción de café
 - Facilitar la apropiación del conocimiento y la tecnología por parte del caficultor, a través del Servicio de Extensión

En la Figura 2, construida a partir de las definiciones del Sistema de Gestión Integral de la Federación de Cafeteros (SGI) certificado bajo la Norma ISO 9001:2008 se observa la integración, relación e inter-dependencia de los diferentes actores del circuito del conocimiento alrededor de la producción de café:

- Los proveedores de la información para el desarrollo de las investigaciones son las necesidades de los cafeteros y la información de campo que recoge el Servicio de Extensión.
- El cliente inicial de la investigación es el Servicio de Extensión, que recibe los resultados de la misma y debe adelantar el proceso de transferencia de tecnología al

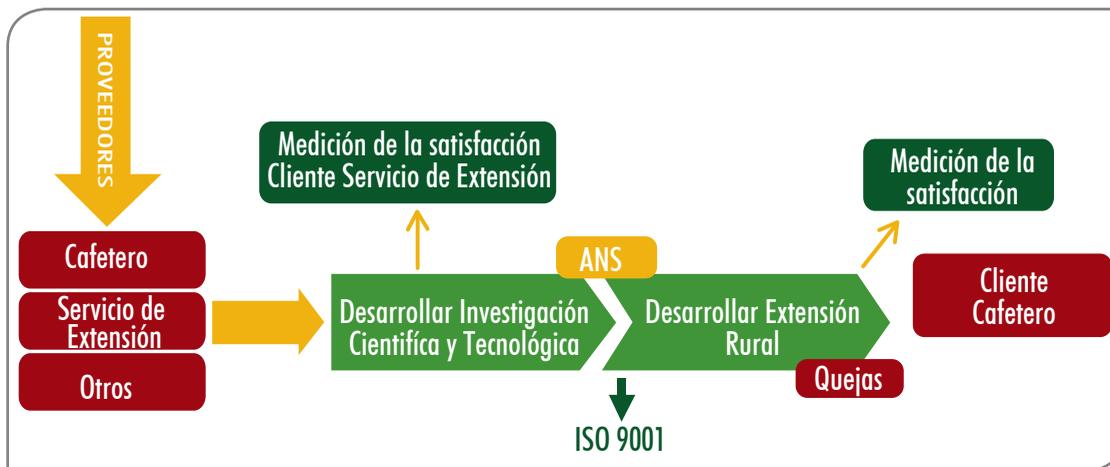


Figura 2.

Procesos misionales de la FNC, a cargo de la Gerencia Técnica, para contribuir a la competitividad y sostenibilidad de las empresas cafeteras.

cliente final del proceso, adecuando los resultados a las diversas condiciones edafo-climáticas, sociales y culturales de cada zona.

- El cliente final del proceso es el propio cafetero, quien aplica los conocimientos en su finca, con los cuales se busca el bienestar de la familia.
- El cafetero, mediante una encuesta de satisfacción, evalúa el servicio que recibe de los extensionistas, y a la vez durante el año, tiene la posibilidad de presentar quejas que deben ser tramitadas de inmediato para la solución de los inconvenientes en la prestación del servicio.
- El Servicio de Extensión también evalúa el servicio que recibe del Proceso de Investigación, en busca del mejoramiento continuo del servicio integral.

Para contribuir al fortalecimiento y la articulación de las dos áreas, en los últimos años se han desarrollado diferentes estrategias, una de ellas se denomina “Acuerdos de Niveles de Servicio-ANS”, que cumplen con las siguientes características:

- Contrato entre dos partes (Cliente – proveedor), que especifica las características del servicio, su oportunidad y la calidad esperada del mismo.
- Establece las obligaciones de las partes frente al servicio, así como los prerrequisitos necesarios para la prestación del servicio en las condiciones pactadas.
- Así mismo, contiene una métrica que permite la medición, control y seguimiento del acuerdo.
- Establece los mecanismos de escalamiento y resolución de problemas en caso de presentarse incumplimientos por cualquiera de las partes.

Actualmente, se han identificado los siguientes ANS, cada uno de ellos con objetivos específicos:

ANS	Objetivo
Divulgar y usar los productos de investigación	Contribuir a elevar el nivel de conocimiento y competencias del Servicio de Extensión para la solución de problemas y la oferta de oportunidades para la caficultura, a partir de los productos de investigación generados.
Retroalimentar sobre las necesidades de la caficultura	Atender problemas e inquietudes de los caficultores relacionados con la producción de café en cada región, a través de la revisión y evaluación de éstos como oportunidades de investigación.
Construir y utilizar espacios de interacción	Fortalecer la relación entre el Servicio de Extensión y los investigadores, a través de herramientas colaborativas (Foros, seminarios, blogs, etc) que faciliten la interiorización y comprensión del conocimiento y la tecnología que se encuentra a disposición de los caficultores.

Fortalecimiento de la relación entre el Servicio de Extensión y Cenicafé para contribuir a la sostenibilidad de la caficultura

Son diversos los retos que a la luz de las condiciones actuales de la caficultura tienen el Servicio de Extensión y el Servicio de Investigación para contribuir de manera importante y eficaz a la sostenibilidad y competitividad de la caficultura, dentro de los que se destacan:

- Mantener un proceso permanente de fortalecimiento de competencias y capacidades del Servicio de Extensión, a partir de los avances que en diferentes temáticas genere Cenicafé.
- Los procesos de transferencia de conocimiento y tecnología, deben ser complementados con la promoción de procesos de innovación, donde se involucre de manera activa al caficultor, quien cuenta con una experiencia amplia y que debe ser la base para la generación de soluciones de problemas locales.
- El enfoque de la Extensión, además del mejoramiento de la eficiencia de los factores de producción, debe involucrar a sus objetivos y acciones tradicionales de cambio técnico, otras relacionadas con el cambio social, institucional y ambiental en las diferentes regiones.

Durante los últimos años se han formalizado acciones entre el Proceso de Investigación y el de Extensión³, con excelentes resultados a nivel de campo:

1. Investigación participativa con caficultores – IPA

Este programa se adelanta en fincas de caficultores innovadores en todo el país, para facilitar a nivel local la comparación en campo de prácticas tradicionales con prácticas nuevas, resultado de la investigación.

Es así como el Servicio de Extensión selecciona al caficultor, quien en acompañamiento constante instala la parcela en su finca, allí toma información relevante y utiliza la finca para labores educativas. En este caso, **Cenicafé asesora el proceso y mediante visitas de campo coopera en el ajuste tecnológico.**

El programa está enmarcado en un Plan de Trabajo debidamente consultado y comunicado; en la actualidad se trabaja en temas técnicos como Adopción de Variedad Castillo® resistente a la roya, Precisión en los niveles adecuados de fertilización con diferentes grados y casas comerciales y Solución de problemas sanitarios del cultivo.

2. Diagnóstico continuado de broca y roya

Mediante un muestreo estadístico diseñado por Cenicafé, con base en los lotes cafeteros registrados en el SIC@ WEB, el Servicio de Extensión visita las fincas seleccionadas y toma la información definida

para conocer el porcentaje de infestación de la broca y el porcentaje de infección de la roya, en cada departamento cafetero, en cuatro ocasiones por año, en fechas definidas por los investigadores.

La interpretación de los resultados permite a los investigadores elaborar un documento por medición, con análisis de datos y recomendaciones precisas sobre las acciones de manejo de ambos problemas, llegando hasta el nivel local, ya que los distritos quedan debidamente registrados en la información básica.

El extensionista transmite las recomendaciones a los caficultores de su zona en las actividades educativas, con el objetivo de mantener la plaga y la enfermedad en niveles bajos, de manera que no representen daño económico para las plantaciones.

A la fecha, desde mayo 2010, se han realizado 13 mediciones, cuyos resultados como promedio nacional se reflejan en las Figuras 3 y 4.

3. Programa de producción de semilla certificada a nivel de fincas

Con la implementación del programa más agresivo de la historia en renovación de cafetales utilizando variedades resistentes a la roya del cafeto, se precisó la necesidad anual de semilla certificada para garantizar el éxito del mismo. Dicho volumen se estimó en más de 200 toneladas anuales para los años 2011 al 2013, y se identificó el limitante del proveedor institucional (Estaciones Experimentales de Cenicafé), cuya capacidad de producción alcanzaba a suplir aproximadamente el 40% de la necesidad.

Con un protocolo de trabajo definido entre los Servicios de Investigación y Extensión se seleccionaron 35 fincas de caficultores y granjas de los Comités, con lotes de café Variedad Castillo® o las Variedades Castillo® Regionales, en producción y en excelente estado, que desearán vincularse al programa, los cuales fueron capacitados en Cenicafé.

El resultado permitió la provisión oportuna de semilla en todo el país, contribuyendo al logro de una renovación de 320.000 hectáreas de café, entre 2010 y 2012, y a una proyección de 90.000 hectáreas adicionales en el 2013. La red de producción de semilla se implementó con un sistema de trazabilidad con código de barras que garantiza la calidad de la semilla desde el lote de producción.

³ FNC – Gerencia Técnica – Documentos que definen la relación de trabajo entre Investigación y Extensión: a. Protocolo para la Producción de Semilla en Fincas de caficultores; b. Diagnóstico continuado de broca y roya; c. Programa de Investigación Participativa IPA; d. Proyección de la Producción.

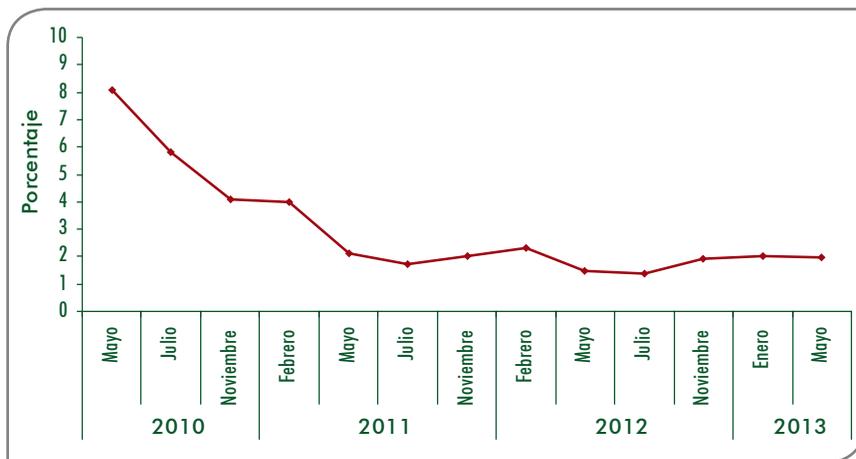


Figura 3.

Comportamiento de la infestación por broca. 2010-2013.

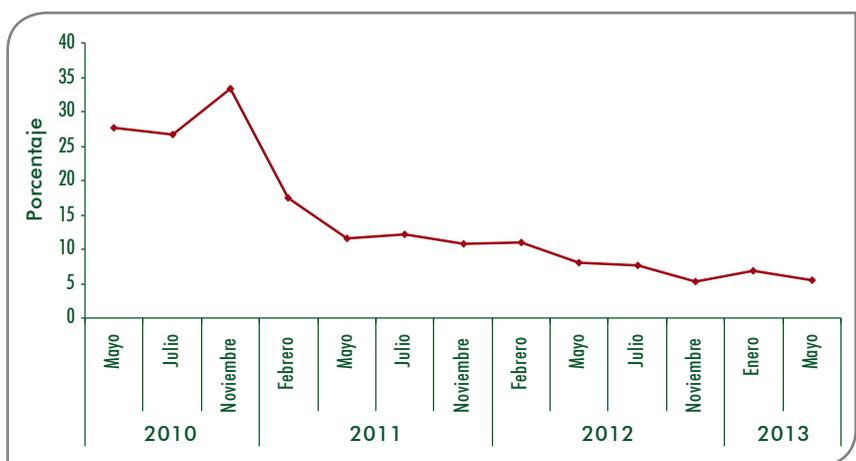


Figura 4.

Comportamiento de la infección por roya. 2010-2013.

4. Proyección de la producción

Para estimar la producción de café en Colombia por semestre, se diseñó una nueva metodología de muestreo, la cual tiene como objetivo proyectar, para cada semestre, la producción nacional en sacos de café verde tipo exportación, a partir de la estimación nacional de café cereza verde. A la fecha se han realizado cinco muestreos, cada uno de los cuales es analizado y procesado y del cual se produce el informe semestral respectivo para orientar técnicamente a las autoridades cafeteras sobre la estimación de la producción de café por semestre.

El trabajo integrado entre Investigación y Extensión ha permitido avanzar con precisión en la estimación de la producción, variable fundamental en la política cafetera del país.

Renovación de cafetales y adopción de nuevas variedades

La renovación ha sido el pilar de la evolución de la caficultura en cuanto a la variedad, edad, densidad

y productividad de los cafetales; siendo una tarea fundamental del Servicio de Extensión en la transferencia de tecnología. Toda la información técnica que se transmite al caficultor está respaldada por la investigación de Cenicafé.

La renovación de cafetales en Colombia, entendida como un cambio del cultivo por la edad o por el uso de nuevas variedades, hoy en día es una práctica común en las fincas con cafetales tecnificados, de acuerdo al ciclo productivo del cafetal, y siempre ha estado estimulada por eventos externos o internos que han influido en su incremento anual y a veces en su detrimento, entre los cuales se encuentran:

- La gran helada brasilera de agosto de 1975
- La aparición de la roya en el año 1983
- La sequía del Brasil en el año 1986
- El paloteo de los cafetales en la zona central cafetera del año 1987, causado por una epidemia de roya.
- La ruptura del pacto de cuotas del Acuerdo Internacional del Café en 1989
- La aparición de la broca en 1988 y su efecto devastador en 1992 - 1993
- Los programas de estímulos institucionales

- Las facilidades de crédito para el caficultor
- La variabilidad climática y una nueva epidemia de roya a partir del 2008
- El precio del café

Inicialmente la caficultura colombiana estuvo fundamentada en la variedad Típica cultivada a la sombra (Arábigo, Nacional o Pajarito, como se le conoce comúnmente en las zonas cafeteras) y sobre ella se desarrolló hasta mediados de la década de 1960, momento en el cual apareció la variedad Caturra, la cual más que una nueva variedad fue una opción de cambio en el sistema de producción, basado en una variedad de porte bajo, cultivable al sol y apoyada en el uso de fertilizantes químicos.

Como resultado del Censo Cafetero de 1970⁴, en Colombia se registraron 1.070.430 hectáreas de café, distribuidas así:

- **1.049.382 hectáreas de café tradicional**
- **21.048 hectáreas de café al sol**

Datos registrados por el Servicio de Extensión en sus informes desde el año 1965 y verificados en el Censo, reflejando la aceptación de caficultores innovadores a los cambios que se proponían en el sistema de producción.

Posteriormente, los resultados del Censo Cafetero 1980-1981⁵ mostraron una caficultura colombiana con 1.009.579 hectáreas de café, de las cuales:

- **665.849 hectáreas estaban en café tradicional**
- **343.730 hectáreas eran de café tecnificado, con:**
 - **175.711 hectáreas al sol**
 - **168.019 hectáreas a la sombra**

Estos datos muestran la manera en la cual los caficultores habían asumido el reto con un 34% de los cultivos de café tecnificados sobre la variedad Caturra, con altas densidades y uso de fertilizantes químicos, tanto al sol como a la sombra.

En la década de 1980 la roya fue determinante en la renovación de cafetales en Colombia, no solo por su registro en septiembre de 1983, sino por el paloteo que

causó en la zona central cafetera en 1987, sumado a la oferta desde la investigación de una nueva variedad de café, resistente a la roya del cafeto, la variedad Colombia (En el año 1982), la cual se constituyó para muchos caficultores en su tabla de salvación frente al problema, especialmente en las zonas más bajas y cálidas. De igual manera, a finales de esta década se rompió el pacto de cuotas del Acuerdo Internacional del Café, en el seno de la OIC, y los países vieron una oportunidad de ampliar su participación en el mercado mundial del café. Para el caso colombiano se amplió la renovación anual en los años siguientes, pero la dispersión de la broca en la zona central cafetera y el nivel de infestación y daño que se presentó en las zonas más bajas y cálidas llevó a la implementación del programa de erradicación de cafetales en zonas bajas, con un estímulo económico para el cambio de explotación, ya que el crecimiento exponencial de la plaga hacía inviable el cultivo del café en esas condiciones climáticas.

Es así como la situación de la caficultura registrada en la siguiente medición mostró cifras significativamente menores a las encontradas en los anteriores censos.

Entre 1993 y 1997 se aplicó la “Encuesta Nacional Cafetera”, que dio origen al “Sistema de Información Cafetera – SIC@⁶”, cuyo resultado mostró una caficultura con 869.158 hectáreas en café, de las cuales:

- **260.009 hectáreas estaban en cafetales tradicionales en variedad Típica (29,9%)**
- **375.785 hectáreas estaban en cafetales tecnificados en variedad Caturra (43,2%)**
- **233.364 hectáreas estaban en cafetales tecnificados en variedad Colombia (26,9%)**

Estos datos reflejan el impacto de los planes de renovación de la caficultura, con 70,1% de los cafetales renovados, lo cual llevó a la Federación a implementar el “Programa de Competitividad”, diseñado para incentivar especialmente la renovación de los cafetales tecnificados y el cual funcionó entre 1998 y 2011, con muy buenos resultados y con los siguientes objetivos:

- Mantener los niveles de producción anual entre 11 y 12 millones de sacos de café verde
- Elevar la densidad de siembra a cerca de 6.000 ejes por hectárea
- Mantener la edad promedio de la caficultura tecnificada joven alrededor de 5 años

⁴ FNC. 1970. División de Investigaciones Económicas – Atlas Cafetero De Colombia – Censo Cafetero de 1970. Aprobado 26 de noviembre de 1970 – XXIX Congreso Nacional de Cafeteros.

⁵ FNC. 1983. División de Investigaciones Económicas – Censo Cafetero Nacional 1980 – 1981. Agosto de 1983.

⁶ FNC 1997. Gerencia Técnica – Oficina de Estudios y Proyectos Básicos Cafeteros – Sistema de información cafetera, Encuesta Nacional Cafetera – SICA – Diciembre de 1997.

Para el año 2005, Cenicafe entregó una nueva variedad de café resistente a la roya, más productiva, conocida como la Variedad Castillo® y sus componentes regionales, la cual también es un incentivo a la renovación.

En el Congreso Cafetero Extraordinario de junio de 2007, celebrado en Medellín con motivo de los 80 años de la Federación de Cafeteros, se lanzó el programa PSF (Permanencia, Sostenibilidad y Futuro), con el decidido apoyo del Gobierno Nacional a través del Ministerio de Agricultura y Finagro, como respuesta a la necesidad de atender a los pequeños caficultores en su programa de renovación de los cafetales tradicionales y tecnificados envejecidos, y bajo unas excepcionales condiciones de financiamiento.

Esta etapa está ligada adicionalmente al período de reducción de la producción de café en Colombia (2009-2012) originada por diversos factores que se fueron alineando y conjugando, entre los cuales se destaca el incremento del precio de los fertilizantes 2008-2009, la epidemia de roya en 2009 y 2010, el fenómeno de La Niña junio 2010-mayo 2011, calificado como el más severo de la historia reciente, y la prolongación de los períodos de exceso de lluvia hasta marzo-abril de 2012. Adicionalmente, la agresiva acción en renovación de los cafetales recomendando la Variedad Castillo®, ante la variabilidad climática, también ha contribuido a una lenta recuperación de la producción⁷; entre 2010 y 2012 se renovaron 328.910 hectáreas de café (Tabla 7), 34,4% de la caficultura, y solamente en 2013, por edad del café renovado y normales condiciones de clima, algunas de estas hectáreas han iniciado su expresión en producción.

Los datos registrados en el SIC@ a julio 31 de 2013, muestran la situación actual de la caficultura (Tablas 8 y 9). Al analizar estas estadísticas se puede observar que la tecnología generada por Cenicafe, en cuanto a renovación de cafetales, ha sido transferida por el Servicio de Extensión, y se refleja en la existencia de cafetales tecnificados jóvenes menores de 8 años, en todos los departamentos (68,4% de la caficultura actual), como cafetales sembrados con variedades resistentes (57,4% de la caficultura actual).

A julio 31 de 2013, según el SIC@⁸, la caficultura en Colombia presenta 955.021 hectáreas en café, con la siguiente estructura:

- **67.513 hectáreas tradicionales en variedad Típica (7,0%)**
- **341.752 hectáreas tecnificadas en variedad Caturra (35,8%)**
- **263.272 hectáreas tecnificadas en variedad Colombia (27,6%)**
- **282.485 hectáreas tecnificadas en Variedad Castillo® (29,6%)**

En la Figura 5 se ilustra el proceso del cambio de variedades de café en Colombia, a través del tiempo, de los últimos 43 años.

Los programas de renovación son permanentes y por ciclos de años, según las condiciones propias de cada lote de café; los resultados integrados del trabajo Investigación – Extensión permiten mostrar con satisfacción que **a la fecha se cuenta con la caficultura más joven (49,5% menor de 5 años), más tecnificada y con mayor cantidad de hectáreas sembradas con variedades resistentes a la roya en la historia de la caficultura colombiana.**

Retos técnicos para el período actual (2011 – 2015)

Las acciones técnicas a implementar para cada período en la historia de la caficultura han dependido de las condiciones del momento y su proyección en un mediano plazo, manejable dentro de las posibilidades institucionales.

El período 2008- 2012 fue muy crítico para la caficultura colombiana por la acumulación y continuidad de situaciones adversas, que llevaron al gran descenso de la producción anual de café desde el 2009 y que se mantuvo hasta el año 2012⁹, sólo en el 2013 los programas

Renovación de cafetales (hectáreas)	2008	2009	2010	2011	2012	2013*
Total anual	69.637	76.478	82.174	125.317	121.419	47.178

* Dato a Julio 31 de 2013

Tabla 7.

Renovación de cafetales en Colombia de 2008 al 2013. SIC@ WEB – a julio 31 de 2013.

⁷ FNC 2011. Gerencia Técnica – Plan de Acción para la recuperación e incremento de la productividad del Café en Colombia – Conferencia – Noviembre de 2011.

⁸ FNC – Gerencia Técnica – Sistema de Información Cafetera – SICA – Estadísticas Cafeteras – Julio de 2013.

⁹ FNC – Gerencia Técnica – Informe Anual Gerencia Técnica para el Informe del Gerente General al Congreso Cafetero – Años 2008 a 2012.

Departamento	Área sembrada en café (Hectáreas)	Área sembrada en café por tipo de tecnificación (Hectáreas)			Edad de los cafetales		
		Tecnificado envejecido	Tecnificado joven	Tradicional	Menor a 2 años	Entre 2 y 8 años	Mayor a 8 años
Antioquia	135.786	23.454	112.316	16	27.444	70.710	37.632
Bolívar	998	64	923	12	442	452	104
Boyacá	10.975	2.671	6.460	1.844	2.549	3.130	5.295
Caldas	77.722	13.009	63.706	1.008	18.569	41.113	18.041
Caquetá	3.937	1.001	2.839	97	1.133	1.433	1.372
Casanare	2.907	253	1.654	1.001	820	766	1.322
Cauca	87.529	16.739	64.693	6.097	19.522	37.237	30.770
Cesar	30.006	7.704	13.606	8.696	6.011	6.316	17.680
Chocó	168	33	135	0	40	81	47
Cundinamarca	41.618	8.250	26.251	7.118	6.366	15.509	19.744
Huila	148.541	13.280	134.446	815	36.158	86.601	25.781
La Guajira	6.621	1.660	2.578	2.384	1.041	1.124	4.456
Magdalena	20.795	7.672	10.341	2.782	4.550	4.808	11.437
Meta	3.143	852	2.170	121	984	978	1.181
Nariño	38.322	4.454	33.485	383	7.556	20.539	10.227
Norte de Santander	30.371	8.718	15.856	5.797	5.992	7.434	16.946
Quindío	29.713	3.194	25.515	1.005	7.665	14.551	7.497
Risaralda	52.632	7.494	44.643	495	12.129	28.880	11.623
Santander	47.506	8.248	38.114	1.144	11.072	19.629	16.805
Tolima	116.887	24.130	87.388	5.368	23.991	55.453	37.442
Valle del Cauca	68.842	16.030	49.987	2.825	15.457	27.948	25.437
Total general	955.021	168.908	737.107	49.006	209.491	444.690	300.839

Tabla 8.

Registros de la caficultura Colombiana (Área en café, tipo de tecnificación y edad de los cafetales). SIC@ WEB/Julio 31 de 2013.FNC/ Gerencia Técnica.

emprendidos han empezado a mostrar respuestas positivas en la producción. De allí, que se deban asumir retos técnicos en los cuales la Investigación y la Extensión en la Federación Nacional de Cafeteros juegan un papel preponderante por su relación con el cafetero, cliente final en el circuito del conocimiento¹⁰.

La Gerencia Técnica ha considerado que este período debe enmarcarse en el siguiente objetivo:

Recuperar e incrementar la productividad mediante la ejecución de un plan de acción en el corto y mediano plazo, con la aplicación oportuna de la tecnología disponible, considerando las posibilidades de ajustes y cambios tecnológicos según las condiciones agroecológicas en cada región y las expectativas de variabilidad climática.

La orientación hacia el objetivo lleva a hacer énfasis en las siguientes prácticas de cultivo, entendiéndolas como críticas en la recuperación de la productividad:

- **Varietades resistentes:** Disponibilidad de semilla y desarrollo de nuevas variedades, para otras zonas del país o con nuevos componentes.
- **Renovación y manejo de densidades:** Continuidad en los planes de renovación, ajuste en densidades y en ciclos de renovación.
- **Arreglos espaciales y manejo de podas:** Nuevo diseño de cafetales con introducción de podas que faciliten la recuperación de la producción del lote en menor tiempo
- **Nutrición:** Fomentar el uso del análisis de suelos y promover y mantener una óptima fertilidad de los suelos bajo condiciones y requerimientos particulares de la producción cafetera

¹⁰ FNC – Gerencia Técnica – La Extensión Rural en la Federación Nacional de Cafeteros - Conferencia – Noviembre de 2012.

Departamento	Total de área sembrada en café (Hectáreas)	Área sembrada en café en variedades resistentes		Área sembrada en café en variedades susceptibles	
		Castillo®	Colombia	Caturra	Típica
Antioquia	135.786	36.049	60.149	39.202	386
Bolívar	998	681	174	103	41
Boyacá	10.975	3.700	821	3.761	2.693
Caldas	77.722	22.364	29.465	24.559	1.335
Caquetá	3.937	1.445	197	2.042	253
Casanare	2.907	1.293	424	27	1.164
Cauca	87.529	30.507	15.226	35.184	6.611
Cesar	30.006	8.118	4.237	6.843	10.808
Chocó	168	27	43	98	
Cundinamarca	41.618	11.049	14.358	7.581	8.631
Huila	148.541	39.434	29.421	77.747	1.939
La Guajira	6.621	1.309	585	1.022	3.705
Magdalena	20.795	5.595	1.822	6.643	6.734
Meta	3.143	1.396	409	1.099	240
Nariño	38.322	10.703	9.485	17.583	551
Norte de Santander	30.371	7.586	8.306	7.948	6.532
Quindío	29.713	7.379	7.696	13.339	1.299
Risaralda	52.632	15.633	19.097	17.087	815
Santander	47.506	15.148	23.910	6.708	1.740
Tolima	116.887	41.698	21.981	45.544	7.664
Valle del Cauca	68.842	21.371	15.467	27.631	4.373
Total general	955.021	282.485	263.272	341.752	67.513

Tabla 9.

Registros de la caficultura Colombiana (Área en café y variedades cultivadas). SICA WEB/Julio 31 de 2013.FNC/ Gerencia Técnica.

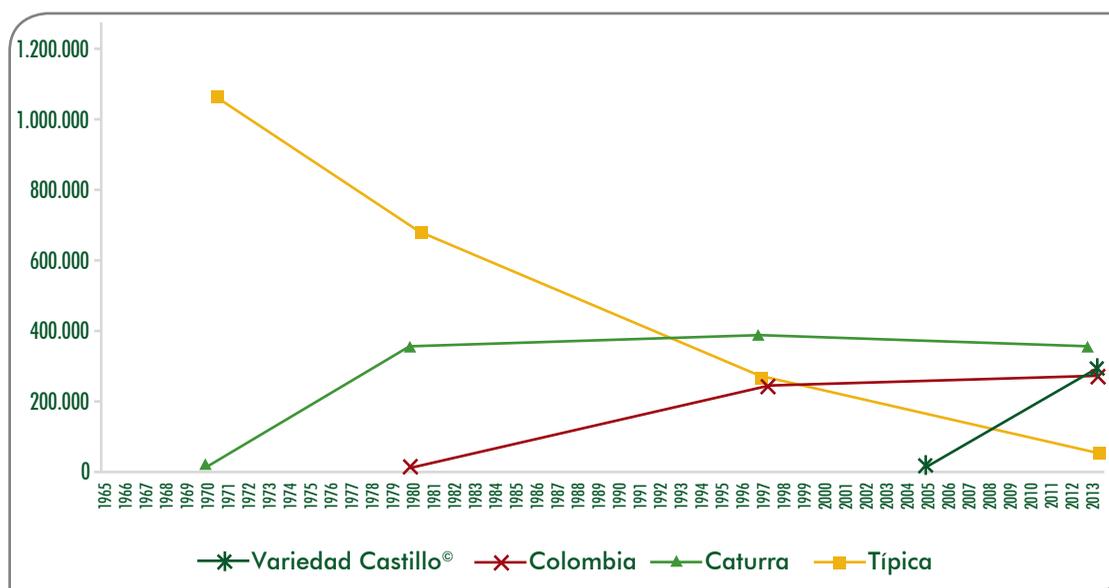


Figura 5.

Evolución en Colombia, del número de hectáreas en café por variedad.

- **Manejo fitosanitario:** Implementar prácticas de manejo de enfermedades en función de la amenaza y vulnerabilidad de cada zona cafetera, y continuar con los programas de manejo integrado de plagas
- **Caficultura productiva a la sombra:** Manejo del sombrío (Número de especies, podas y distancias de siembra) y su relación con la productividad del cafetal
- **Conservación de suelos:** Establecimiento de barreras vivas, selección de coberturas nobles, sistemas de siembra y regulación de sombrío
- **Alertas tempranas:** Análisis de los pronósticos de clima, diagnóstico continuado de broca y roya, uso de registros de florescencias
- **Cosecha y beneficio:** Iniciativas para la recolección con medios mecánicos eficientes, calibración de equipos y uso eficiente en los materiales para secado de café.

Esta orientación detallada muestra la necesidad permanente de una estrecha articulación entre la Investigación y la Extensión en la Federación de Cafeteros, para ayudar al Cafetero en su adaptación a la caficultura del futuro, mediante la adopción de tecnología que le facilite la adecuación de sus cultivos ante los nuevos retos.

Literatura citada

- FNC. *Manual del Sistema de Gestión de Calidad del Servicio de Extensión*. 37 p 2009.
- FNC. *Caficultura: modelo de paz. Foro “Política de Desarrollo Agrario Integral”*. Bogotá D.C. In: http://www.cafedecolombia.com/intranet/PRESENTACIONGT-Dic_1.pdf 2012. (Consultado junio de 2013). 38 diapos.
- SALDÍASB., C.A.; JARAMILLO C., C.M. (s.f.) *40 años del Servicio de Extensión*. 20 p. In: <http://www.federaciondecafeteros.org/static/files/art%201.pdf> (Consultado en junio de 2013).

Aportes de la investigación a la formación de caficultores

Margarita Buitrago Rodríguez; Olga Clemencia Parra Castro

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia - FNC ha promovido desde su creación políticas para el fomento de la investigación en café, la transferencia de tecnología y la capacitación de las familias cafeteras del país, para que la adopten y hagan uso de los beneficios que ella les entrega. Todo esto lo ha logrado a través de su grupo de extensionistas, quienes trabajan bajo el principio de que lo fundamental es el caficultor, y el proceso educativo es una estrategia para buscar solución a las dificultades que se puedan presentar en la cadena productiva.

Esta estrategia, acompañada de políticas a nivel social, está orientada al mejoramiento continuo de la caficultura nacional. Su resultado se traduce en la generalización de las prácticas en la población cafetera y a su paso cultivos tecnificados, aumentos en la productividad, competitividad y sostenibilidad, que redundan en el bienestar social de las familias cafeteras.



El proceso de transferencia de tecnología se ha realizado desde un activo intangible con el que cuenta la Institucionalidad Cafetera “**El Circuito del Conocimiento**”, el cual conduce a que las familias cafeteras se beneficien de los resultados de la investigación, a través de la labor que lleva a cabo el Servicio de Extensión como dinamizadores de procesos de aprendizaje que articulan el desarrollo rural, la promoción y el estímulo para la participación activa de los cafeteros y sus familias en programas sociales, educativos y productivos, con el apoyo de otras entidades del gremio como las Cooperativas de Caficultores, los Comités de Cafeteros y Cenicafé (Figura 1).

La Fundación Manuel Mejía comienza a hacer parte de este Circuito del Conocimiento a partir de su creación el 28 de julio de 1960, en homenaje al importante líder cafetero Manuel Mejía Jaramillo, con el propósito de formar al personal técnico de la industria cafetera de Colombia. En más de 50 años de trayectoria, los programas de formación se han extendido a todos los departamentos cafeteros del territorio nacional colombiano, capacitando alrededor de 445.393 personas del sector rural de Colombia, especialmente a nuestros cafeteros y sus familias, al Servicio de Extensión y a los representantes de los Comités Departamentales y Municipales de Cafeteros y líderes gremiales.

Igualmente, en asocio con instituciones nacionales e internacionales, se ha llegado a las familias cafeteras, a familias de la zona urbana de bajos recursos económicos, productores agropecuarios y profesionales que asisten el agro colombiano.



El quehacer de la Fundación Manuel Mejía se basa en formular y liderar procesos educativos que promuevan el bienestar de las comunidades rurales colombianas a través del diseño, desarrollo, implementación y evaluación de programas de capacitación.

La relación entre investigación y formación

Inicio de la relación

Durante muchos años la Institucionalidad Cafetera ha logrado consolidar un sistema de gestión de ciencia y tecnología agrícola denominado **Circuito del Conocimiento**, liderado por la Gerencia Técnica.

Este circuito está constituido básicamente por la interacción entre el Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé, el Servicio de Extensión y la Fundación Manuel



Figura 1.

Circuito del conocimiento.

Mejía, en función del cafetero y su familia, teniendo al cultivo de café como medio que facilita el bienestar del productor.

El vínculo entre Cenicafé y la Fundación Manuel Mejía es un tema de la naturaleza misma de la Institucionalidad Cafetera, que comienza desde su creación hace más de 53 años, cuando a su vez inició la construcción de su Sede Educativa en el municipio de Chinchiná (Caldas).

Como dato curioso que ejemplifica esta relación, la historia misma relata coincidencias, es así como el señor Luis Antonio Lozano Rayo, padre de uno de los colaboradores con más años de trayectoria en la Fundación Manuel Mejía, se capacitó como Práctico Cafetero con Cenicafé y, posteriormente, se convirtió en administrador de la Estación Central Naranjal durante 13 años (Una de las ocho Estaciones Experimentales con las que cuenta Cenicafé). Así mismo, en varias oportunidades directivos de Cenicafé han hecho parte de la Junta Directiva de la Fundación Manuel Mejía - FMM.

El 8 de junio de 1965, la FMM inició sus actividades en la Sede Educativa en la vereda Quiebra de Naranjal, en el municipio de Chinchiná, contiguo a la Estación Central Naranjal de Cenicafé. La cercanía geográfica de las dos instituciones ha permitido mantener una comunicación directa en temas educativos, técnicos e investigativos, consolidándose como instituciones que fueron creadas para realizar un trabajo conjunto en pro de los cafeteros colombianos.



El Circuito del Conocimiento que nace en Cenicafé y fluye por toda la Institucionalidad hasta llegar a los cafeteros, se consolida a través de los procesos de formación que lidera la Fundación Manuel Mejía.

La Fundación Manuel Mejía ha sido la escuela de los cafeteros y del Servicio de Extensión de la FNC. Los primeros cursos que se ofrecieron, se orientaron con el propósito de formar 67 jóvenes, con edades entre 18 y 26 años, como expertos agropecuarios en cursos de 13 y 20 meses de duración, donde se utilizaban campos de práctica de Naranjal para apoyar los procesos académicos con la Fundación Manuel Mejía. Desde aquella época hasta ahora se realizan préstamos de terrenos o instalaciones de la Sede Educativa a Cenicafé, para desarrollar ensayos de investigación de

diferentes disciplinas, los cuales han sido monitoreados por personal adscrito a cada una de ellas. Algunos de éstos, son:

- Primer prototipo del sistema de beneficio ecológico por fermentación natural denominado “tanque tina” y del sistema modular de tratamiento anaeróbico (Tanques en asbesto cemento), personal adscrito a esta disciplina con profesores de la Fundación hacían seguimiento al funcionamiento de la tecnología y lo utilizaron como apoyo para la educación de los cafeteros en el tema de beneficio ecológico por fermentación natural.
- Parcelas demostrativas de café orgánico, tanto a libre exposición solar como bajo sombrero de diferentes especies.
- Construcción de una porqueriza para implementar el ensayo de investigación en el uso del mucílago de café en la alimentación de cerdos.
- Ensayos para determinar la influencia de la altitud en el comportamiento de la broca del café.
- Inventario de fauna en el Bosque de la Esperanza, entre muchos otros.
- En la actualidad en un lote de café se adelanta una investigación sobre control de musgos en tallos de café con productos a base de calcio.

Las Estaciones Experimentales de Cenicafé han sido también fuente de conocimiento y de apoyo didáctico para la formación. Antes del año 2000 la Fundación llevaba grupos a la Estación Experimental La Catalina, ubicada en Pereira (Risaralda), para observar, entre otros, el proceso de recuperación de la microcuenca de una fuente de agua y cultivos de diversificación. En la actualidad la Estación Central Naranjal recibe con su tecnología a los participantes que se capacitan en la Sede Educativa de la FMM.

Articulación de la labor educativa con la investigación en favor del cafetero colombiano

La Fundación Manuel Mejía ha tenido un desarrollo dinámico para responder a los múltiples retos y transformaciones que ha sufrido la realidad económica y social del país, y por supuesto la caficultura colombiana. Ha sido una institución que revisa y actualiza su propuesta educativa conservando dos premisas fundamentales: Mantenerse a la vanguardia como una institución que atiende necesidades educativas para el desarrollo rural y, la segunda, promover que quienes se capacitan con la Fundación, tengan una formación técnica actualizada, formación humana y administrativa que les permita leer su contexto, ser responsables con el ambiente y ayudar a la construcción de tejido social.

Al iniciar la década del año 2000 y producto de la necesidad de poder llegar a un mayor número de cafeteros, se pasó de un modelo eminentemente de educación presencial hacia la educación a distancia, que en algunas ocasiones involucra nuevas tecnologías de la información y la comunicación y, en otras, material impreso. Gracias a este enfoque, los tutores de la Fundación se desplazan hasta las veredas más lejanas, reconociendo varias situaciones particulares del sector rural colombiano, que son estudiadas para ser pertinente en sus acciones. Un ejemplo de ello, es el alto número de pequeños productores con bajos niveles de escolarización y en su mayoría con edades superiores a 50 años, pero con una gran experiencia empírica, que representa un punto de quiebre para una generación de relevo en la caficultura colombiana.

A partir de estas realidades, la Fundación Manuel Mejía diseña programas en diferentes temáticas que involucran un amplio conocimiento en los principios y funcionamiento de la educación de adultos y en dos campos principales: **Educación para el trabajo y el desarrollo humano**, enfocado en la creación e implementación de iniciativas de educación, que desarrollan y fortalecen diferentes tipos de competencias en los trabajadores, y la **Promoción y apoyo a la educación formal** con programas encaminados a mejorar la calidad y pertinencia para el acceso y la permanencia de niños y jóvenes en el sistema educativo colombiano.

De esta manera, para facilitar el acceso a la población beneficiaria, nuestros programas se implementan a través de tres modalidades de formación:



Presencial

Los docentes y tutores realizan encuentros grupales en diferentes municipios y departamentos de Colombia, así como en la Sede Educativa de Chinchiná. Se parte del principio de respetar la ubicación de los participantes.



A distancia apoyada en material impreso y encuentros presenciales

La Fundación elabora y distribuye el material impreso a los participantes para su estudio, realiza asesorías y encuentros presenciales.



A distancia apoyada en tecnologías de la información y la comunicación - TIC's

Acompañamiento y seguimiento virtual con encuentros grupales a través de foros y talleres presenciales para hacer las prácticas.

Entre los programas de formación en café más destacados que iniciaron en la década del año 2000 y que continúan hoy soportados en el conocimiento generado por Cenicafé, se destacan:

Programa de Capacitación Virtual para colaboradores de la FNC (Extensionistas, investigadores de Cenicafé y docentes de la FMM)

Formación a los colaboradores de la FNC en los diferentes conceptos y procedimientos técnicos, económicos, sociales y gremiales, que se requieren para prestar un mejor servicio a los cafeteros de Colombia. Desde el año 2003 se realiza un trabajo conjunto por parte de la Institucionalidad Cafetera, en el que Cenicafé con el apoyo de la FNC aporta los contenidos.

Capacitación virtual para caficultores

Generación de un proceso de alfabetización digital de cafeteros de diferentes regiones de Colombia, que les permita acceder a metodologías de capacitación apoyadas en las TIC's. Cenicafé aprueba los contenidos relacionados con temas técnicos de la caficultura.

Apoyo al Programa Escuela y Café

Capacitación de docentes y estudiantes de instituciones educativas rurales y personal de las Secretarías de Educación a nivel Nacional.

Programas de formación de cafeteros para el fortalecimiento de la productividad (FNC, SENA, Comités Departamentales de Cafeteros y Cooperativas de Caficultores)

Desarrollo e implementación de actividades, proyectos y programas que contribuyan al desarrollo del sector cafetero, consolidando buenas prácticas y adoptando tecnologías que buscan incrementar la producción sostenible de café.

Giras educativas

Estas giras actualmente son: Café, Gestión y Calidad; Institucionalidad Cafetera, Proceso Productivo del Café, Gira Integrada y Hacia la Sostenibilidad Ambiental.



Independientemente de la modalidad de formación, la relación de la Fundación Manuel Mejía con Cenicafé se sigue fortaleciendo, brindando sus aportes en conocimiento e investigación.

Estos aportes se resumen en:

Autoría o aval en los contenidos para el desarrollo de programas y materiales educativos que se han desarrollado en la Fundación tanto para el Servicio de Extensión como para caficultores

El proceso de diseño y desarrollo de los programas, y con ello, los materiales educativos se desarrollan con base en las teorías y resultados de investigación de Cenicafé. De esta manera se garantiza el rigor científico y se logra que las personas sean capacitadas con los últimos avances en tecnología de café. Se aplica un procedimiento de construcción conjunta para garantizar la pertinencia de los materiales educativos.

Disponibilidad de recursos para facilitar el aprendizaje

Trabajo continuo y coordinado entre ambas instituciones para lograr que la Sede Educativa sea en sí misma un ambiente de aprendizaje idóneo para los estudiantes. Para tal fin, se cuenta con la asesoría directa de profesionales de Cenicafé para el mejoramiento de las instalaciones tecnológicas de café o los cafetales de la Sede Educativa, dentro de la implementación del Sistema Integrado de Gestión en Buenas Prácticas Agrícolas.

Cenicafé apoya los procesos de capacitación en concertación con la FMM, atendiendo en las instalaciones de la Estación Experimental La Catalina y la Estación Central Naranjal, a los grupos provenientes de los diferentes departamentos cafeteros.



Capacitación en la Estación Central Naranjal

De esta manera, se realiza en forma directa la divulgación del conocimiento en talleres sobre temas técnicos, de avance e innovación tecnológica cafetera, en los cuales las Estaciones

Experimentales juegan un papel importante en los programas de investigación regional, en diferentes zonas del país, y cuentan con las tecnologías en funcionamiento para que los participantes de los cursos de formación con la FMM, las observen y realicen las preguntas correspondientes a los investigadores, para luego aplicarlas en su institución.



Visita a la sede de Planalto

En Cenicafé, localizado en el municipio de Manizales (Caldas), los participantes en los cursos o giras, reciben información sobre el Centro y el conocimiento sobre los programas de investigación en las diferentes disciplinas. Además, se realizan recorridos por las instalaciones, los caficultores llevan los Avances Técnicos, Brocartas, Biocartas y otras publicaciones científicas disponibles en el área de Divulgación y Transferencia, y se les invita a ingresar a la página web de Cenicafé (www.cenicafe.org) donde pueden consultar sobre diferentes temas a los expertos y descargar las publicaciones.

Participación en la Mesa Sectorial de Café

La Fundación Manuel Mejía ha participado junto con Cenicafé en la Mesa Sectorial de Café en la revisión técnica de las titulaciones y normas técnicas de café que el SENA impulsa dentro de sus programas educativos dirigidos al sector.

La FMM es reconocida hoy por el papel activo que juega en la capacitación del Servicio de Extensión y de los caficultores a través de la nueva propuesta educativa que se caracteriza por llevar la educación a la “casa” de los estudiantes, incorpora tecnologías de la información y la comunicación, se soporta en el trabajo interinstitucional y aborda múltiples temáticas con diversos perfiles de estudiantes.

Los retos de una relación fortalecida a favor de la sostenibilidad

El trabajo colaborativo entre el desarrollo científico y la transferencia de tecnología por medio de procesos de enseñanza-aprendizaje, ha hecho presencia en Alianzas y Convenios interinstitucionales de cobertura nacional e internacional, producto de la capacidad de gestión de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. El circuito del conocimiento se ha enriquecido al encontrar propósitos comunes en Organismos de Cooperación Internacional, Centros de Investigación, Redes Internacionales de Investigación, Universidades, Agencias Gubernamentales, Unidades Locales Gubernamentales, ONG y otras Organizaciones Educativas, teniendo un contacto activo con organizaciones que promueven el desarrollo humano y rural.

En los últimos 5 años, además del aprendizaje construido a lo largo del camino, el grado de disposición y compromiso demostrado desde las Direcciones Ejecutivas y demás integrantes de las organizaciones, ha permitido conceptuar sobre diversos temas y ejecutar acciones pertinentes a la misión de cada institución. Como resultado, se han incorporado a estas iniciativas los **Planes Integrales de Formación** desarrollados por la Fundación Manuel Mejía con el Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé, entre los cuales se encuentran:

2009. Proyecto Jóvenes Caficultores (FNC, Unión Europea)

El cual tuvo como objetivo apoyar los procesos productivos de ocho fincas propiedad de 185 jóvenes caficultores y caficultoras, a través del mejoramiento de la infraestructura productiva y la implementación de tecnologías para el fortalecimiento de la calidad del café, fomentando la

seguridad alimentaria y nutricional y brindándoles una proyección de vida ajena a la violencia y acorde con los principios de equidad de género. Como resultado de este proceso de formación, los jóvenes caficultores recibieron la certificación como “Auxiliares en implementación de Buenas Prácticas Agrícolas en la producción de café”

2011 – 2015. Convenio Huellas de Paz (FNC, Agencia Española de Cooperación Internacional para el desarrollo (AECID) y la Fundación Humanismo y Democracia (H+D).

Con el cual se busca contribuir a la protección y a la realización efectiva de los derechos económicos, sociales, culturales, políticos y civiles de las familias campesinas de 22 municipios de los departamentos de Antioquia, Cauca, Nariño y Valle del Cauca. El plan de formación se realiza en las líneas de acción social, económica y ambiental, formando alrededor de 6 mil familias en al menos cuatro de los ocho cursos por departamento.

2012. Plan de formación en el marco del Proyecto Forestal KfW “Preservando la biodiversidad y contribuyendo a la mitigación y adaptación del cambio climático” (Cenicafé, Servicio Nacional de Aprendizaje –SENA).

El cual pretende fortalecer la capacitación en temas sociales, económicos y ambientales para cerca de mil cafeteros beneficiarios.

Ahora inicia un nuevo reto, el proyecto **Gestión Inteligente del Agua** con la implementación de un plan de formación para cerca de 8 mil familias cafeteras en el uso inteligente de los recursos hídricos en la producción cafetera; y para la formación del Servicio de Extensión, de los tutores y del SENA.

Los **Planes Integrales de Formación** se implementan en el marco del Sistema Integrado de Gestión Rural (SIGR), desarrollado por Cenicafé en los tres componentes de la sostenibilidad: **Social, ambiental y técnico-económico**, y se articulan con los **Planes Integrales de Mejoramiento** que elaboran los beneficiados de las acciones. Estos planes les permiten plantear las acciones de mejora para superar las debilidades identificadas en sus predios en la caracterización que realiza Cenicafé antes de iniciar el proceso; incluyen además las mejoras de acuerdo a la infraestructura que reciben y la asistencia técnica de Cenicafé durante la implementación de los proyectos o Convenios de Cooperación Internacional.

La metodología que integra a las dos instituciones en el desarrollo de las acciones, se basa en las **fases del mejoramiento continuo: Planear, hacer, verificar y actuar.**

Durante la fase de **planear** se desarrolla, valida y aplica por parte de Cenicafé la línea base. Sus resultados permiten tener “el mapa o estado” de las poblaciones en cada uno de los componentes y es un aporte fundamental para la FMM, quien busca desde el plan transformar las necesidades y potencialidades identificadas en respuestas y soluciones de formación. En esta fase se realiza también el proceso de diseño y desarrollo del Plan de formación y de los materiales educativos, Cenicafé selecciona un grupo de investigadores expertos que aportan los contenidos, la FMM realiza un proceso de capacitación en didáctica a los autores, y con su equipo interdisciplinario realiza la adaptación de los mismos, con el fin de lograr un producto pertinente, contextualizado, motivante y actualizado.

En la fase **hacer**, en la implementación de los **Planes Integrales de Formación** busca llegar al mayor número de beneficiarios y lograr el empoderamiento de las comunidades. Es así como en los últimos años se ha empezado un proceso **formación de formadores** entre Cenicafé y la FMM, en temas técnicos y pedagógicos, para que éstos a su vez formen en su región a grupos de líderes comunitarios o de integrantes de la comunidad que quieran apoyarlos en sus proyectos. A este proceso subyace la idea de que quien vive en su comunidad y la lidera, sea cada vez más competente para que mantenga la conciencia de aplicación del conocimiento y la difunda entre los cafeteros.

En este proceso de cualificación, cierto número de investigadores de Cenicafé han fortalecido sus capacidades didácticas para compartir el resultado de sus investigaciones, tanto por actividades de formación directa en el tema educativo que han recibido de la Fundación Manuel Mejía, como por la interacción directa entre investigador y docente en la atención de giras educativas y en el campo.



Los Planes Integrales de Formación se han constituido en el conjunto estructurado de acciones formativas articuladas y fundamentadas en un modelo pedagógico que permite visibilizar el principio de que las acciones para los beneficiados se soporten en un enfoque de derecho, para conseguir una población capacitada, motivada y con un grado de sensibilización tal que les permita ser Titulares de Derecho, capaces de aprovechar las oportunidades y autogestionar recursos.



Formación de formadores por parte de Cenicafé y la FMM



Investigadores formando a los participantes de las giras en Naranjal



Investigadores formados por la FMM en "Didáctica para la transferencia"

Finalmente, en las fases del SIGR, **verificar y actuar** se hace el seguimiento a la implementación de los planes integrales de mejoramiento por parte de Cenicafé, como producto esperado del proyecto, mediante el cual se evidencia el alcance de las competencias definidas.



*De esta manera, se ha creado entre Cenicafé y la Fundación Manuel Mejía un capital de conocimiento en **sostenibilidad y pertinencia**, con el que se pueden lograr impactos de largo plazo, en competitividad para la caficultura colombiana, sobre la base de la solidaridad como valor fundamental que busca servir y aportar.*

Para finalizar, es importante agregar, que: **El circuito del conocimiento no es lineal ni en un solo sentido, este capital de conocimiento ha facilitado a la FMM aportar al país en alianzas con otras instituciones públicas y privadas, siguiendo el desarrollo de la educación rural colombiana, así como la política gubernamental en esta materia.**

Entre estos aportes al país se encuentran:

- Impulso a la construcción del modelo educativo Juventud Rural para instituciones educativas de modalidad agropecuaria.
- Actor clave en los procesos de articulación del Programa de Transformación de la Educación Técnica y Tecnológica en regiones cafeteras.
- Implementación del Programa de Familias con Bienestar (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar-ICBF, FNC), que logra desarrollar y potenciar capacidades en las familias colombianas para la promoción de la convivencia armónica de todos sus integrantes, la prevención de la violencia en el contexto familiar por medio de una estrategia pedagógica diferencial, psicológica y social, que promueva el mejoramiento de su calidad de vida y bienestar.
- Programas desarrollados con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Programa de Capacitación en Extensión Rural. A partir de la exitosa experiencia del Programa de Capacitación Virtual para colaboradores de la FNC y caficultores, el MADR da inicio a este programa, que tiene como objetivo fortalecer el desempeño de los profesionales

dedicados a la asistencia técnica rural de pequeños y medianos productores agropecuarios en todo el país.

Empresarización para organizaciones de productores agropecuarios, con el fin de orientarlos para que a través de la capacitación de sus Coordinadores Sociales fortalezcan sus competencias empresariales, sus capacidades administrativas, gerenciales y de autogestión.

Empresarización para familias productoras agropecuarias (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD), un grupo de profesionales contratados por PNUD, capacitados en la FMM en la metodología de empresarización, implementan el programa con familias focalizadas por el PNUD.

Mujer Rural (MADR) y Jóvenes Rurales (MADR), dos programas que buscan desarrollar competencias en las dimensiones personal, comunitaria y empresarial para que las mujeres y jóvenes rurales puedan fortalecer sus conocimientos y habilidades para elaborar sus planes de vida.

- Procesos de capacitación a docentes, directivos docentes y personal de las Entidades Territoriales, en el tema de Proyectos Pedagógicos Productivos como apoyo a la labor del Ministerio de Educación Nacional (MEN), que buscan fomentar el conocimiento en la formulación, viabilización y seguimiento a los Proyectos Pedagógicos Productivos (PPP) de establecimientos educativos rurales.

El conocimiento de esta sinergia entre Cenicafé y la Fundación Manuel Mejía permite comprender la importancia de continuar aplicando estrategias como:

- La actualización de docentes por parte de Cenicafé.
- La formación de investigadores por parte de la FMM en fundamentos para la comunicación de su contenido en los textos de formación y de forma directa a los cafeteros.
- El apoyo en la identificación de necesidades de investigación al comunicar las inquietudes de los cafeteros.
- La colaboración conjunta en el diseño de materiales y estrategias de divulgación.
- La divulgación de resultados de investigación a través de los cursos de capacitación.
- El apoyo en procesos de investigación participativa y diseño de propuestas alternativas de formación.

Literatura citada

- CENICAFÉ. *Memorias seminario científico ciencia y agricultura tropical para el Siglo XXI: Celebración de los 70 años del Centro Nacional de Investigaciones de Café–Cenicafé*. Chinchiná: Feriva, 2009. 309 p.
- CENICAFÉ. *Sistema integrado de gestión rural: Resultados PAC 2011-2012 convenio huellas de paz*. Manizales : Oficina de cooperación internacional : Fundación Manuel Mejía, 2012.189 p.
- FUNDACIÓN MANUEL MEJÍA. *Educando para el desarrollo : 50 años*. Bogotá : Panamericana Formas e impresos, 2010.176 p.
- FUNDACIÓN MANUEL MEJÍA. *Proyecto educativo institucional*. Bogotá. 2010. 78 p.

Gestión del riesgo agroclimático

Fuentes de amenaza climática para el café en Colombia

Álvaro Jaramillo Robledo; Víctor Hugo Ramírez Builes

La producción agrícola por su naturaleza está expuesta a condiciones variables de clima, las cuales no siempre son favorables a la producción y la productividad. Un ejemplo de ello es lo ocurrido en los últimos años en la zona cafetera colombiana donde debido a la presencia del evento de variabilidad climática de La Niña, que se inició en el año 2008 y se extendió hasta principios del año 2012, se generaron condiciones atmosféricas poco favorables para el crecimiento y desarrollo del cultivo de café, y a la vez muy favorables para el desarrollo de enfermedades del cultivo.

Dentro de las estrategias definidas por la institucionalidad cafetera para lograr recuperar y estabilizar la producción en el país se encuentra **la gestión del riesgo agroclimático**. La aplicación de esta estrategia permitirá avanzar en la idea de una **caficultura climáticamente inteligente**, con capacidad de adaptación y de respuesta a condiciones variables de clima.

En este capítulo se presentan algunos conceptos generales de **riesgo agroclimático**, la gestión realizada que ha permitido identificar sus componentes y de manera específica se abordará el primero de ellos: **Las fuentes de amenaza climática**.



Conceptos generales sobre el riesgo agroclimático

Para iniciar la comprensión de este capítulo es necesario definir el riesgo agroclimático.

Conceptualmente el **riesgo** de acuerdo con Chavarro et al. (2008), se refiere a la probabilidad, la estimación y la cuantificación de la magnitud y las consecuencias de los daños ambientales, sociales, económicos o culturales y las pérdidas humanas, bienes, especies y prácticas culturales, entre otras, en un lugar o tiempo determinado como resultado del desencadenamiento de una amenaza.

El **riesgo agroclimático**, se define a su vez, como la estimación o la probabilidad de que una amenaza climática pueda afectar de manera negativa un sistema de producción de café, reduciendo su capacidad productiva.

Desde el punto de vista práctico y cuantitativo, el **riesgo agroclimático** es el producto de la amenaza por la vulnerabilidad dividido por la capacidad de adaptación (Ecuación 1).

Ecuación 1

$$\text{Riesgo Agroclimático} = \frac{\text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}}{\text{Capacidad de adaptación}}$$

De la Ecuación 1 se puede decir que:

- La **amenaza** es de tipo climático y se refiere a la probabilidad o posibilidad de que cambios en las variables climáticas afecten el sistema de producción de café.
- La **vulnerabilidad** hace referencia a que el sistema de producción de café reduzca su capacidad productiva, al ser expuesto a la **amenaza**. Como se muestra en la Ecuación 1 la vulnerabilidad es multiplicativa, lo que significa que en la medida que el sistema de producción de café sea más vulnerable, mayor será el riesgo o viceversa.
- La **capacidad de adaptación** se define como la posibilidad o el potencial que tiene el sistema de producción de modificarse frente a una amenaza o de dar respuesta a ella; la **capacidad de adaptación** está en el denominador, lo que significa que puede reducir el producto de la **amenaza por la vulnerabilidad** y, por ende, el **riesgo**, si se aumenta la capacidad de adaptación.

Consideraciones prácticas

Lo anterior significa que respecto a la **amenaza** es muy importante conocer las fuentes y tener cada vez mejores herramientas para predecirla y cuantificarla, y desde el punto de vista de los sistemas de producción hay que trabajar en conocer, entender y reducir la **vulnerabilidad**, y en desarrollar, evaluar e implementar estrategias que permitan incrementar la **capacidad de adaptación**.

Fuentes de amenaza climática para la caficultura colombiana

Los procesos que determinan el tiempo y el clima en Colombia se deben principalmente a la interacción de los diferentes componentes de la variabilidad climática en la región tropical. La zona cafetera colombiana se ve expuesta a diferentes fuentes de variabilidad climática en dos tipos de escalas a saber: Espacial y temporal.

A nivel espacial hay fuentes de variabilidad climática desde micro-escala, como la variación en las condiciones climáticas a nivel de lote, pasando por el nivel de meso-escala a nivel de cuenca, hasta macro-escala a nivel de país. Por la importancia y las implicaciones que tienen en los sistemas de producción de café, en este capítulo se hará referencia a la **amenaza** a nivel meso-escala y macro-escala. (Tabla 1). Así mismo, de acuerdo con la escala temporal, se abordarán las fuentes de **amenaza climática** en la zona cafetera de Colombia (Tabla 2).

A continuación se presentan las fuentes de **amenaza climática**

Cambio climático Variabilidad climática secular-milenar

Los registros de las condiciones climáticas de épocas pasadas demuestran que el clima de la Tierra ha estado en constante cambio. La variabilidad climática, incluyendo la variación en la frecuencia de los eventos extremos (Por ejemplo, las sequías, las inundaciones y las tormentas) ha tenido grandes impactos en las actividades humanas. Por esta razón, los científicos estudian las condiciones climáticas del pasado en diversas escalas de tiempo, para hallar indicios que ayuden a la sociedad a planificarla con relación a los futuros cambios climáticos.

Para el estudio de los climas del pasado o paleoclimas se utilizan diferentes indicadores naturales o *proxis* (Accefynt-Icsu, 1994):

- Mediante el análisis de los contenidos de polvo y gases atrapados en los casquetes polares o en los hielos de los glaciares se registran las condiciones de viento, temperatura y precipitación prevalecientes en épocas pasadas.
- Los depósitos de sedimentos terrestres proporcionan información sobre erosión eólica, tipos de vegetación y circulación atmosférica.
- El análisis del polen depositado permite conocer los cambios de vegetación a través del tiempo, como respuesta a cambios climáticos regionales o globales, originados por las edades de hielo o cambios provocados por el hombre.
- Los depósitos de sedimentos marinos, con los cuales se pueden estimar las circulaciones marinas, la temperatura media de la superficie del mar y los volúmenes de hielo. La edad de los sedimentos se puede conocer con la ayuda del carbono 14 e isótopos de descomposición del uranio.
- Los anillos de los árboles proporcionan información anual y estacional de la temperatura y la lluvia durante los últimos 10.000 años; estos elementos influyen, aumentan o disminuyen el crecimiento de los árboles, condiciones adversas como las sequías o el frío tienen su efecto en el crecimiento.
- Los arrecifes de coral proporcionan un registro de las condiciones climáticas y marinas. Por medio del análisis de isótopos del oxígeno, del carbono y del cadmio se conocen los flujos de nutrientes por las corrientes marinas y las condiciones de temperatura

Tipos de variabilidad espacial	Fuentes de variabilidad
Micro-escala	<ul style="list-style-type: none"> • Variación de la temperatura del dosel de la planta a lo largo del día • Variación de la distribución del viento y de la humedad atmosférica dentro del cultivo
Meso-escala	<ul style="list-style-type: none"> • Viento • Granizo • Circulación valle-montana (Relación lluvias diurnas/lluvias nocturnas)
Macro-escala	<ul style="list-style-type: none"> • Zona de convergencia intertropical (ZCIT) • Corrientes de chorro • Ondas tropicales • Cambios de temperatura de los océanos (El Niño/La Niña-ENSO, Oscilación decadal del Atlántico Norte, Oscilación decadal del Pacífico)

Tabla 1.

Tipos de variabilidad espacial de la amenaza climática para la zona cafetera de Colombia.

Fuentes	Origen	Características
Cambio climático (Variabilidad climática secular-milenario)	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en los factores forzantes externos (Variaciones galácticas, variaciones orbitales, entre otros) • Cambios en la composición química de la atmósfera 	<p>Cambio > de 50 años</p> <p>Depende de modelos</p> <p>Tiene incertidumbre.</p>
Variabilidad climática decadal	<ul style="list-style-type: none"> • Oscilación decadal del Pacífico (PDO) • Oscilación decadal del Atlántico Norte (NAO) 	<p>Variación > a 20 años</p> <p>Hay certidumbre</p> <p>Hay evidencia</p>
Variabilidad climática Inter-Anual	<ul style="list-style-type: none"> • El Niño-La Niña (ENSO) (El Niño-Southern Oscillation, por sus siglas en inglés) 	<p>Variación > a 1 año</p> <p>Hay certidumbre</p> <p>Hay evidencia</p>
Variabilidad climática Intra-Anual	<ul style="list-style-type: none"> • Zona de convergencia intertropical (ZCIT) • Ondas Tropicales del Atlántico • Ondas del Pacífico (Maden-Julian) • Chorros (Chorro del Pacífico) 	<p>Variación < a 1 año</p> <p>Hay certidumbre</p> <p>Hay evidencia</p>

Tabla 2.

Fuentes de amenaza climática para la caficultura Colombiana.

del océano o cambios en la salinidad y nivel del océano.

- Muchas publicaciones históricas y narraciones de exploradores describen las condiciones de clima, así como paisajes en pinturas de algunos artistas.

El cambio climático es complejo y caótico y se debe a múltiples factores que están en permanente interacción, como se presenta en la Figura 1.

Mecanismos de forzamiento externo. Éstos se deben a la posición de la Tierra con respecto al sol (Excentricidad, oblicuidad y precesión o variación en el giro del eje terrestre), y a la actividad de las manchas solares.

- **Variaciones galácticas.** La órbita del sistema solar con relación al centro de la galaxia se ha considerado como posible mecanismo de forzamiento global; se ha planteado que los superciclos de las edades de hielo de 700 millones de años sean el resultado de tales mecanismos.
- **Variaciones orbitales.** Las variaciones de insolación en la Tierra, resultantes de cambios en los movimientos de translación y de rotación, permiten explicar los ciclos glaciales. Se plantean tres mecanismos: La excentricidad de la órbita de la Tierra alrededor del sol, la oblicuidad o la inclinación del eje de rotación terrestre, y la precesión. La excentricidad, en períodos de aproximadamente de 100.000 años, la órbita se alarga y se acorta; ésta ha influido en la frecuencia en los ciclos de las glaciaciones. La

oblicuidad o inclinación del eje de rotación terrestre, fluctúa desde los 21,5° hasta los 24,5° en períodos de 41.000 años; al aumentar la inclinación resultan más extremas las estaciones en ambos hemisferios. La precesión del eje de rotación de la Tierra describe una circunferencia completa cada 25.790 años; ésta es responsable de producir una intensificación de las estaciones durante el año.

- **Variaciones solares.** La variabilidad solar ha sido considerada como otro factor de forzamiento externo. El ciclo más conocido es la variación en el número de manchas solares, con un período de 11 años. En los años con un bajo número de manchas solares la constante de radiación solar disminuye. Aunque la variación en la constante solar es muy baja, muchos estudios demuestran relaciones entre el número de manchas solares con las sequías, la temperatura y el ozono atmosférico. Como un ejemplo se tiene que en el período de 1645 a 1715 (Mínimo de Maunder) se presentó un clima excepcionalmente frío en Europa y Norteamérica, conocida como la Pequeña Edad de Hielo, la cual estuvo asociada a una actividad mínima de las manchas solares.

Mecanismos de forzamiento interno. Éstos son la formación de los continentes y montañas, la actividad volcánica, las corrientes oceánicas superficiales y profundas, la proporción de las masas de hielo, la dinámica y composición de la atmósfera.

- **Formación de los continentes - Epirogénesis.** En la Tierra se presentan cambios en la disposición de los continentes (Epirogénesis). Hace 250 millones de años la Tierra estaba constituida por un único



Figura 1.

Mecanismos que determinan el clima terrestre (Pidwirny y Scott, 2010).

continente (Pangea), y mediante su fraccionamiento y movimiento (Deriva continental) se llegó a la distribución actual, con lo cual de manera permanente se han modificado las circulaciones en los océanos, y con ellas, los intercambios energéticos.

- **Formación de las montañas - Orogénesis.** La orogénesis se refiere a los procesos de la formación de las montañas y los continentes. La distribución, altura y orientación de montañas modifican las circulaciones locales e influyen en el clima de los continentes.
- **Actividad volcánica.** Los volcanes emanan grandes cantidades de polvo y gases (Especialmente dióxido de azufre) a la atmósfera superior. Las emisiones volcánicas afectan sustancialmente la radiación solar incidente, afectando el balance de energía en la troposfera y en la estratosfera. Un ejemplo en la modificación del clima se tiene con la erupción del volcán Pinatubo, en Filipinas, en 1991, la cual originó un enfriamiento durante dos años (1992 y 1993), en la superficie terrestre (Troposfera), hasta de 0,4 °C y un calentamiento en la estratosfera hasta de 1,2 °C.
- **Circulación oceánica.** Los océanos almacenan y redistribuyen una gran cantidad de calor, y en consecuencia, tienen un papel crucial en la regulación del sistema climático de la Tierra. Las circulaciones oceánicas superficiales (Corrientes marinas) y profundas (Circulación termohalina) permiten el intercambio de calor entre la región tropical y las regiones polares. La circulación oceánica ha sido

asociada a un ciclo de miniglaciaciones cada 1.500 a 1.700 años.

- **Variación en la composición atmosférica.** Los cambios en la composición atmosférica, incluyendo el contenido de gases de invernadero y aerosoles, son otro mecanismo de forzamiento interno del cambio climático. Los cambios en los gases con efecto invernadero de la atmósfera pueden ocurrir como un resultado tanto de factores naturales como de factores antropogénicos, los cuales han recibido una gran atención en los últimos 20 años. La quema de combustibles fósiles, la tala de bosques y los procesos industriales han incrementado la cantidad de dióxido de carbono y otros gases de invernadero. El más importante gas de efecto de invernadero es el vapor de agua, responsable por el 96% de éste. Entre los demás gases que causan el efecto invernadero, como son el dióxido de carbono, el metano, los clorofluorocarbonos y el óxido nitroso, el más importante es el CO₂, que contribuye con el 3% al efecto invernadero.

Variabilidad climática

La variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones observadas en el clima durante períodos relativamente cortos. Los procesos que determinan el tiempo y el clima en Colombia se deben principalmente a la interacción de las influencias de los diferentes componentes de la variabilidad climática en la región tropical (Figura 2).



Figura 2.

Fuentes de la variabilidad climática en la América Tropical.

Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT). El comportamiento de la precipitación en el transcurso del año está determinado por el movimiento latitudinal de la Zona de Confluencia Intertropical -ZCIT- (Figura 3), la cual se puede describir como una franja de nubes con abundantes lluvias; las regiones que no están bajo la influencia de la ZCIT presentan clima soleado y seco (Jaramillo, 2005; Trojer 1954, 1959).

- Los **patrones de distribución de la lluvia** de la región Andina dependen de las influencias de los vientos Alisios que ingresan por el Atlántico, de las masas de aire que ingresan desde el Océano Pacífico y los aportes de humedad procedentes de la cuenca del Amazonas.

Un comportamiento general de la distribución intra-anual de la precipitación en la región Andina de Colombia, se caracteriza por la ocurrencia de dos períodos secos y dos lluviosos en el año, determinados principalmente por el movimiento latitudinal de la ZCIT, la cual condiciona el tiempo de alta nubosidad y gran cantidad de lluvia. Esta distribución de la lluvia condiciona las épocas de floración y de cosecha en la zona cafetera de Colombia, las cuales permiten tener café durante todo el año (Figura 4).

En los extremos norte y sur de la región Andina, normalmente se presenta una estación lluviosa en el año. En la Zona Cafetera Norte (Mayor de 7° de latitud Norte) ocurre una estación seca pronunciada de diciembre a marzo (Abril) y una estación lluviosa de mayo

a noviembre, con una ligera disminución en julio, esta situación se puede observar en Cesar, Magdalena y en algunas zonas de Santander.

La Zona Cafetera Central (Latitudes entre 3° a 7° Norte) presenta dos períodos lluviosos en marzo - junio y septiembre - diciembre, y dos períodos menos lluviosos en enero - febrero y julio - agosto, condición que puede observarse en Caldas, Risaralda y Quindío.

La Zona Cafetera Sur (Latitudes inferiores a 3° Norte) presenta una estación marcadamente seca desde mediados de junio a mediados de septiembre y una estación lluviosa de octubre a junio, situación que puede observarse en Cauca y Nariño.

Oscilación Decadal del Pacífico (ODP). La Oscilación Decadal del Pacífico ha sido descrita como una fluctuación de largo período en el océano Pacífico, con una duración de 20 a 30 años (Comet, 2011). Se considera que es la generadora de los eventos de El Niño y La Niña.

La Oscilación Decadal del Pacífico consta de una fase cálida o positiva donde habría una mayor ocurrencia de eventos El Niño y una fase fría o negativa en donde serían más frecuentes los eventos de La Niña; la duración de cada una de estas fases está alrededor de dos o tres décadas, es así como, entre 1926 y 1946 hubo una mayor frecuencia de eventos de El Niño, en el período 1947 a 1976 fueron más frecuentes los eventos de La

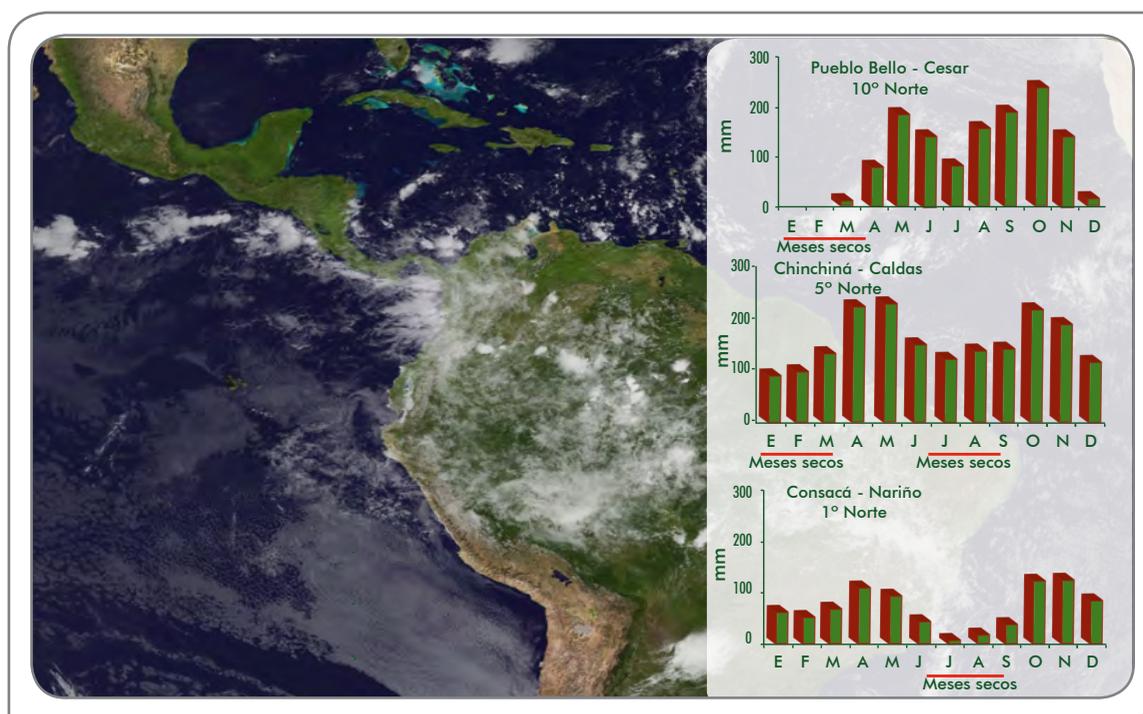


Figura 3.

Zona de confluencia Intertropical y la distribución de la lluvia en la zona cafetera de Colombia.

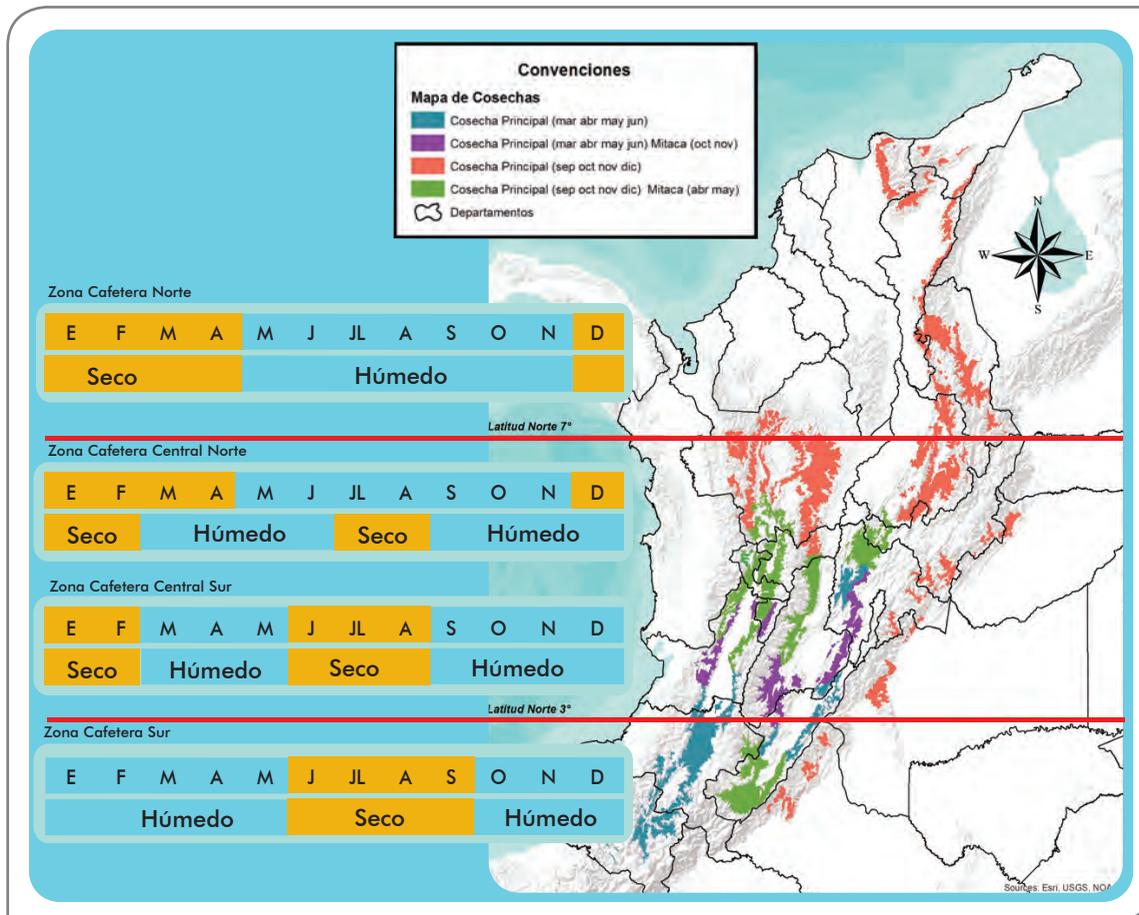


Figura 4.

Distribución de la lluvia y distribución geográfica de la cosecha en la zona cafetera de Colombia.

Niña, y posteriormente se presentó un período entre 1977 a 2008, con una alta frecuencia de eventos de El Niño (Figura 5).

Si se tiene en cuenta la secuencia del comportamiento de la Oscilación Decadal del Pacífico y considerando las incertidumbres que se presentan en las tendencias climáticas, se estaría al final de un período de 30 años con una alta frecuencia de eventos de El Niño, y en el

comienzo de un período de igual duración, con mayor frecuencia de eventos de La Niña.

La variabilidad climática generada por la Oscilación Decadal del Pacífico, ha influido en la producción de café en Colombia, en las Figuras 6 y 7 se relacionan las condiciones de temperatura del océano Pacífico representadas por el índice multi-anual del ENSO, conocido en sus siglas en inglés como MEI, y los residuales de la producción de café registrados a nivel anual desde el año de 1956 a 2011. Para el análisis se dividió la serie en dos períodos a saber: 1956-1976, período en el cual la estructura productiva era de cafetales de porte alto, bajas densidades y dominio de sombrío, y de 1977 a 2011, donde se pasó a cafetales de porte bajo, mayores densidades de siembra y regulación de sombrío en algunas áreas.

Cuando el MEI es inferior a $-0,5^\circ$ indica condiciones frías del océano Pacífico, y cuando es mayor a $+0,5^\circ$ indica condiciones cálidas. Se observa una tendencia en la que la producción nacional de café se reduce en condiciones frías del océano Pacífico y aumenta en condiciones cálidas, es así como el mayor residual positivo de la producción (Mayor que el promedio) se observa en condiciones o fases cálidas de la ODP (Figura 6), que

Consideraciones prácticas

La caficultura en Colombia se debe planificar para los próximos 20-30 años con base en un panorama con una mayor frecuencia de meses fríos y de eventos de La Niña, lo cual implicaría un manejo del cultivo bajo condiciones de mayor humedad y menor brillo solar y menor temperatura, sin que este escenario implique que no se presentarán años con condiciones neutras o de El Niño.

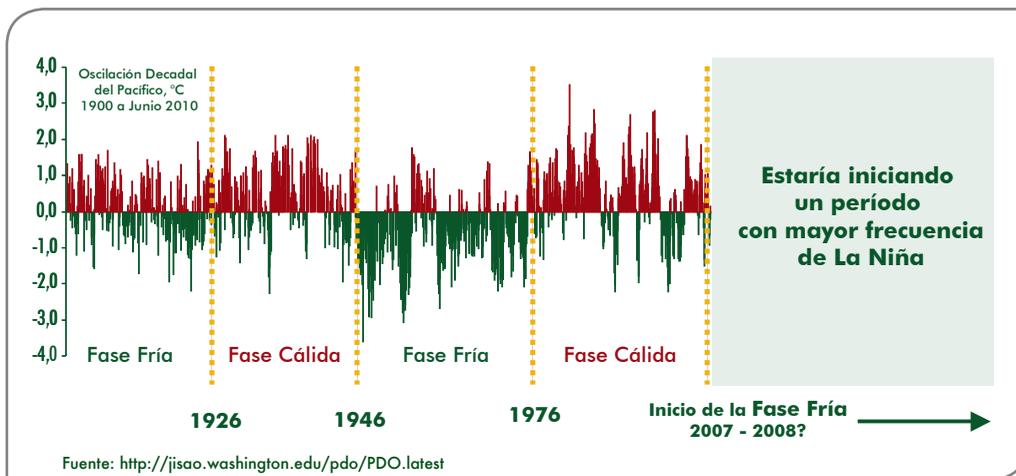


Figura 5.

Comportamiento de la Oscilación Decadal del Pacífico entre 1926 y 2010 y el panorama probable para las próximas décadas.

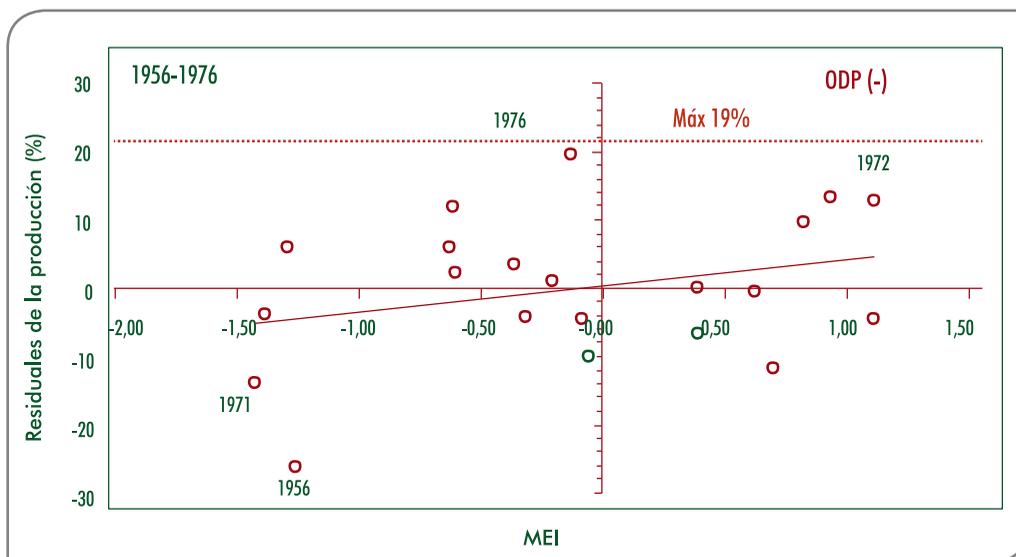


Figura 6.

Relación entre el índice multi-anual del ENSO (MEI) y los residuales de la producción de café en Colombia, para el período 1956-1976, en donde dominó una fase fría del océano Pacífico.

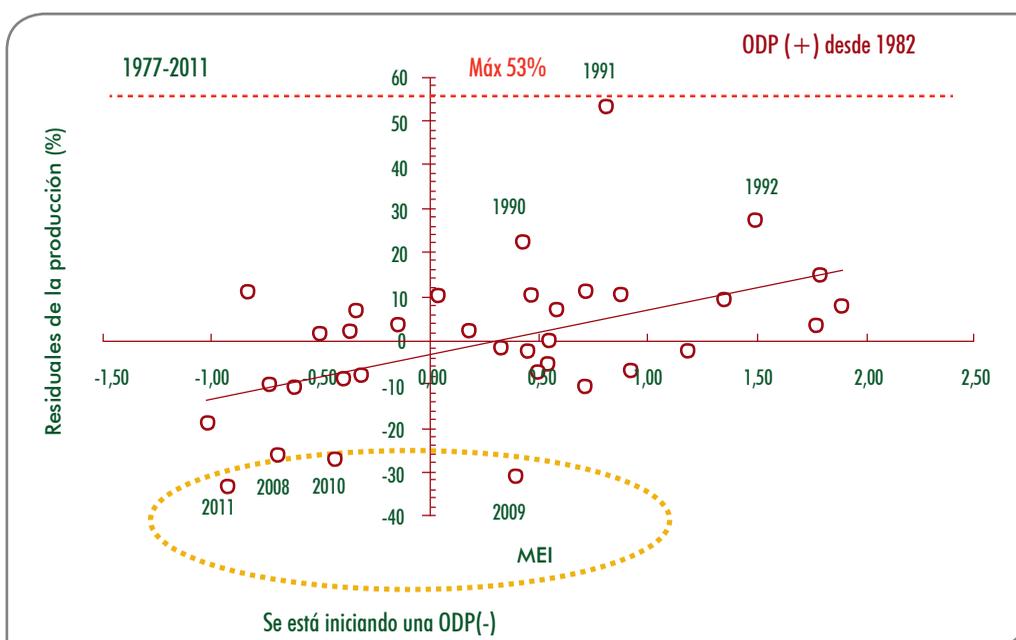


Figura 7.

Relación entre el índice multi-anual del ENSO (MEI) y los residuales de la producción de café en Colombia, para el período 1977-2011, donde dominó una fase cálida del océano Pacífico desde 1982 al 2007. (ODP: Oscilación decadal del Pacífico)

ocurrieron con las cosechas de 1990, 1991 y 1992, donde las condiciones del océano Pacífico eran cálidas, o en el caso de la producción de los años 1972 y 1976, que tienen residuales positivos, alcanzan un valor máximo de 19%, aunque en este período había una fase neutra del océano Pacífico.

De igual manera, se observa que los mayores residuales negativos o producción inferior al promedio, se han presentado en las condiciones frías como las de 1956, 1971, 1999, 2008, 2009, 2010 y 2011, que fueron eventos de La Niña muy fuertes, y que los residuales negativos en la producción desde 2008, estarían indicando el inicio de una fase fría de la ODP.

Consideraciones prácticas

No significa que en fases negativas de la ODP la producción siempre va a estar por debajo de la media, como lo observado en el año de 1976, que estando en fase negativa, la temperatura del océano Pacífico aumentó y la producción registrada estuvo por encima del promedio, o lo observado en el año 1999-2000 que estando en fase cálida, la temperatura del océano Pacífico se redujo, al igual que la producción.

Es importante anotar que la respuesta o la relación entre los cambios de temperatura del océano Pacífico y la producción marcan una tendencia, pero que no es una tendencia perfecta, debido a que si bien el clima es un factor determinante de la producción, no es el único (Ver capítulo Establecimiento de cafetales al sol).

Sistemas atmosféricos de la Amazonía. Las masas de aire provenientes de la cuenca amazónica originan bandas nubosas con altas precipitaciones en la Amazonía colombiana; cuando estos sistemas son intensos sus efectos pueden originar descensos significativos de la temperatura y modificar el tiempo en la cordillera Oriental y parte de la Orinoquia (Poveda, 2004).

Oscilación Multidecadal del Atlántico. La Oscilación Multidecadal del Atlántico (OMA), mide los cambios en la temperatura superficial y los vientos horizontales que ocurren sobre grandes zonas del

Atlántico tropical, a lo largo de períodos de 20 a 40 años (Comet, 2011). En las regiones extratropicales, el efecto de la OMA se observa en forma de un desplazamiento de las corrientes en chorro.

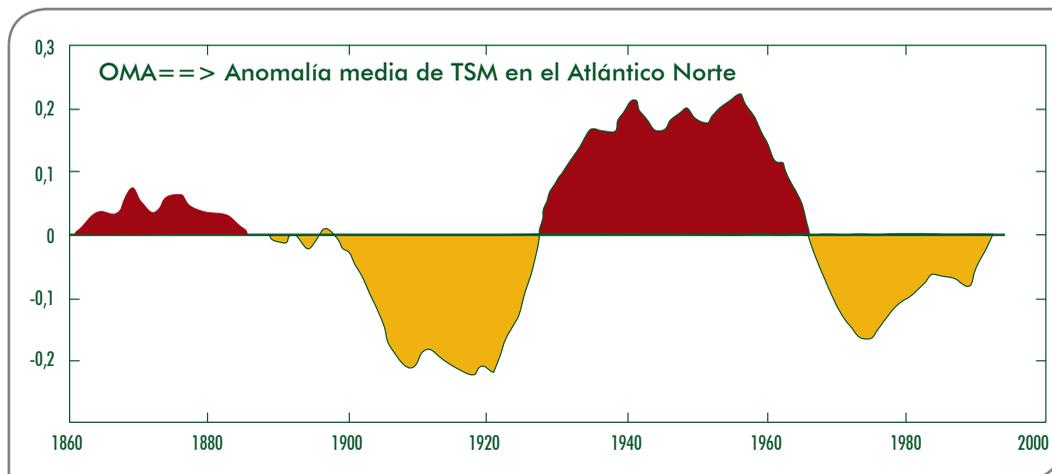
Cuando las aguas del Atlántico Norte tropical presentan una anomalía cálida (OMA positiva), la mayor parte de los Estados Unidos y el noreste de América del Sur reciben menos lluvia, al tiempo que se registra más lluvia en el sur de Alaska, el norte de Europa, África occidental y el sudeste de Estados Unidos (Figura 8). También se ha vinculado la OMA con la actividad de huracanes en el Atlántico; un mayor número de tormentas tropicales se convierte en huracanes mayores durante la fase cálida de la OMA comparado con su fase fría.

Condiciones normales en el océano Pacífico.

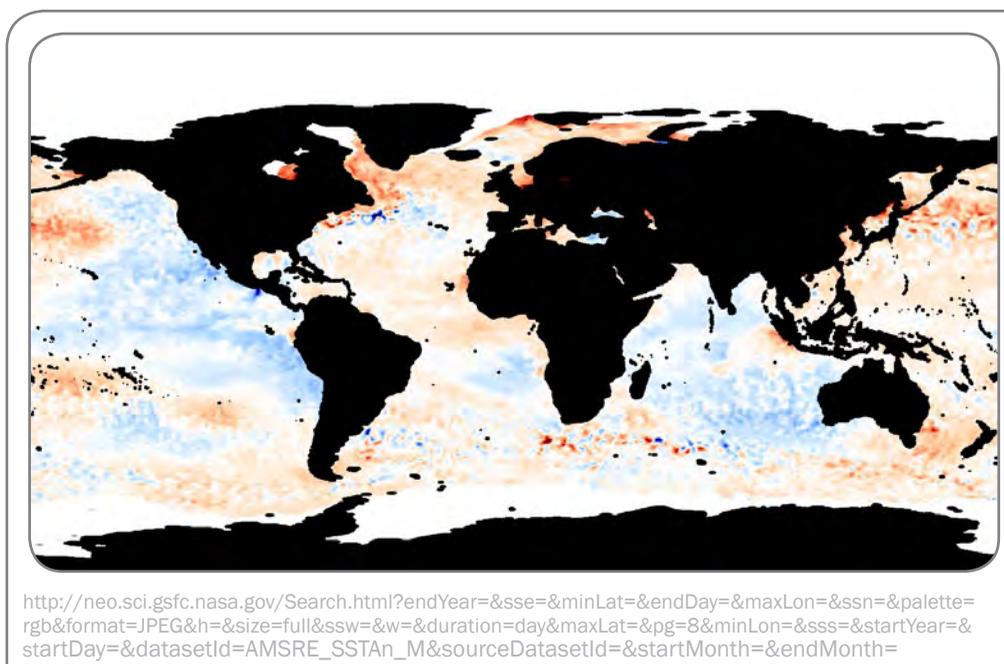
En el océano Pacífico ecuatorial en su condición normal o neutra (Figura 9), los vientos Alisios se desplazan desde las costas de Suramérica hacia el continente asiático. Este movimiento de grandes masas atmosféricas mantiene las aguas superficiales calientes en las costas de Australia, Indonesia y Filipinas. Como consecuencia, en Asia, el aire es húmedo y caliente, la presión atmosférica es baja y la temperatura del agua es alta, estas condiciones originan abundantes lluvias en la Polinesia ecuatorial, el Sureste asiático, parte de la China y el Japón; simultáneamente, en la costa del sur de Ecuador, la costa peruana y buena parte de la costa chilena el aire es frío y seco, la presión atmosférica es alta y la temperatura oceánica superficial es menor que en la costa asiática, como resultado, gran parte de la costa pacífica suramericana es relativamente seca (Philander, 1990; Trenberth, 1997; Wallace y Vogel, 1994).

El Niño. El Niño es un evento climático natural que se produce por la interacción entre la atmósfera y el océano; su principal característica es el incremento de la temperatura en las aguas superficiales del océano Pacífico en una gran área de la región ecuatorial, situada entre los 10° Norte y 10° Sur (Arntz y Fahbach, 1996; Philander, 1990; Wallace y Vogel, 1994). Como resultado de este calentamiento del océano, se afecta el clima terrestre, con disminución de las lluvias en algunas regiones y el incremento en otras, asociadas a cambios en el brillo solar y de la temperatura.

Para que se defina una condición de El Niño, la temperatura del océano debe estar 0,5°C por encima de la temperatura media normal (Media de 30 años) durante 3 meses consecutivos (NOAA News, Septiembre 30 de 2003). El evento de El Niño se puede presentar en forma recurrente, con intervalos que pueden ocurrir entre cada 2 y 7 años; normalmente, inicia su formación entre abril y junio, y alcanza su máximo desarrollo 8 meses después, entre diciembre y febrero. La duración media de El Niño es de 1 año, pero se han registrado

**Figura 8.**

Índice de la oscilación multidecadal del Atlántico (OMA) (Anomalía de la temperatura superficial en grados centígrados, °C). TSM: Temperatura superficial media (Comet, 2011).

**Figura 9.**

Condición normal o neutra en la temperatura del agua en la superficie del océano Pacífico. Las superficies rojas representan una temperatura superior a la media y las azules una inferior (NOAA/NESDIS, Diciembre 2001).



Antes del descubrimiento de América los pobladores de las costas del océano Pacífico de Suramérica conocían sobre el calentamiento de las aguas y sus efectos sobre la vida marina; el aumento en la temperatura del agua es más intenso alrededor del mes de diciembre, por lo cual los pescadores del Perú posteriormente le dieron el nombre de El Niño (El niño Jesús).

eventos con un mínimo de 7 meses (1946) y un máximo de 4 años (1991 a 1995); los eventos más intensos en los últimos 100 años se presentaron en 1982/1983 y 1997/1998.

El Niño afecta el clima en toda la Tierra, causando sequías en algunas partes y excesos de lluvias en otras.

Condiciones de El Niño en el océano Pacífico.

Durante el desarrollo de El Niño (Figura 10), se identifican cuatro fases: Inicio, desarrollo, madurez y debilitamiento. La **fase inicial** corresponde al desplazamiento de aguas cálidas desde el sureste de Asia y Polinesia ecuatorial hacia el centro del océano Pacífico debido a la disminución en intensidad de los vientos Alisios que soplan desde el Oriente hacia el Occidente; en la **fase de desarrollo**

Consideraciones prácticas

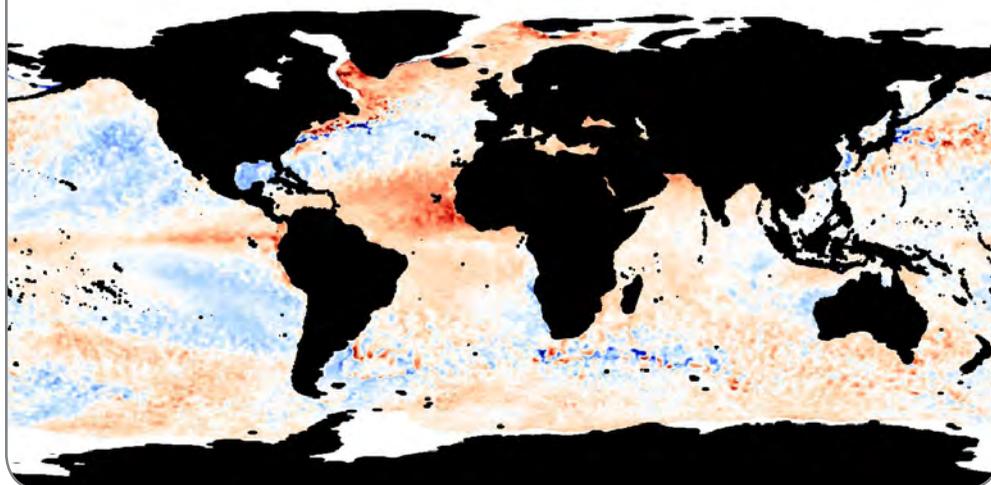
El régimen de lluvias por el efecto de El Niño no sigue un patrón común, ni ha sido el mismo en los diez últimos eventos. Se ha podido identificar una deficiencia moderada de la precipitación entre el 20% y 40% en los volúmenes mensuales en la región Caribe y la mayor parte de la región Andina, especialmente en Nariño, Valle, norte del Huila, occidente de Antioquia, Tolima, Cundinamarca, Boyacá, Santander y región del Catatumbo. Estas deficiencias son de carácter severo (Superiores al 40%) en La Guajira, parte media del litoral Caribe, norte de Córdoba, sector central de Sucre, altiplano Cundiboyacense y área limítrofe entre los Santanderes. En general, durante el fenómeno de El Niño, en la zona cafetera colombiana la precipitación anual se puede reducir hasta en un 20% (IDEAM 2005; Poveda et al., 2000; Poveda et al., 2001).

las aguas cálidas se desplazan desde el Asia hacia Suramérica; en la **fase de madurez** ocurre el máximo calentamiento frente a las costas de Perú, Ecuador y Colombia y por último en la **fase de debilitamiento** se va retornando a la normalidad en la cual los vientos Alisios empiezan a recuperar su intensidad y la temperatura de las aguas superficiales comienzan a disminuir. Estas condiciones originan lluvias intensas en Ecuador y Perú, y sequías en algunas regiones del continente asiático, en África y Australia (Philander, 1990; Trenberth, 1997; Wallace y Vogel, 1994).

La Niña. La Niña es un evento climático natural que se produce por la interacción entre la atmósfera y el

océano; su principal característica es la disminución de la temperatura en las aguas superficiales del océano Pacífico, en una gran área de la región ecuatorial, situada entre los 10° Norte y 10° Sur. Como resultado de este enfriamiento del océano se afecta el clima en la Tierra, con disminución de las lluvias en algunas regiones y el incremento en otras, asociadas a cambios en el brillo solar y la temperatura.

Para definir una condición de La Niña la temperatura del océano Pacífico debe estar 0,5°C por debajo de la temperatura media normal, durante 3 meses consecutivos. El evento de La Niña tiene una duración



http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?endYear=&sse=&minLat=&endDay=&maxLon=&ssn=&palette=rgb&format=JPEG&h=&size=full&ssw=&w=&duration=day&maxLat=&pg=8&minLon=&sss=&startYear=&startDay=&datasetId=AMSRE_SSTAn_M&sourceDatasetId=&startMonth=&endMonth=

Figura 10.

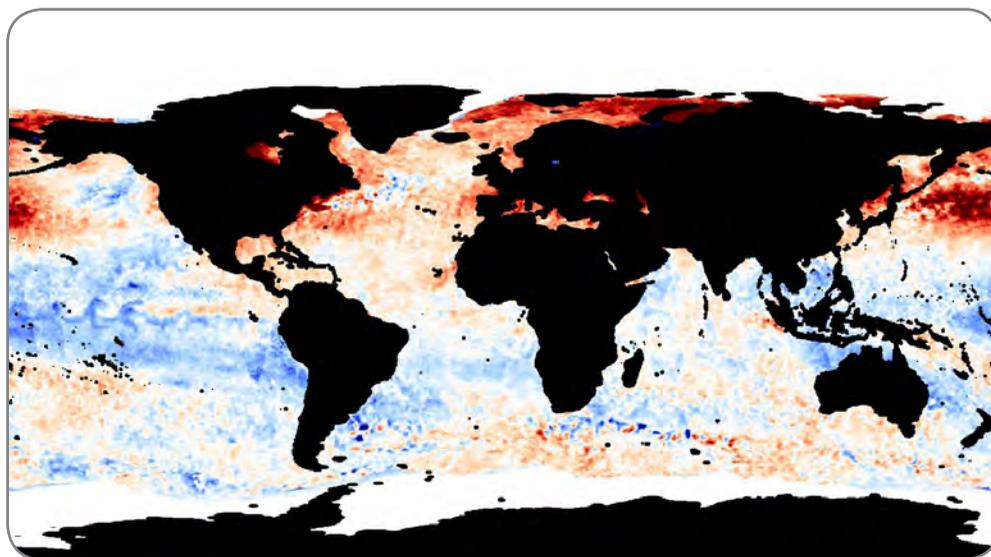
Condición del océano Pacífico durante El Niño. Se observa el calentamiento en la superficie del océano Pacífico ecuatorial. Las superficies rojas representan una temperatura superior a la media y las azules una temperatura inferior (NOAA/NESDIS, Diciembre, 2002).

media de 12 meses, sin embargo, las condiciones frías del océano Pacífico pueden prolongar este evento hasta por 3 años. La Niña se presenta en forma recurrente pero no periódica y, en términos generales, ocurre una o dos veces cada diez años. Comparativamente, La Niña ha sido menos frecuente que el evento de El Niño, es así como entre 1935 y el 2008 se han presentado 8 episodios de La Niña, en contraste con 16 eventos El Niño (Arntz y Fahrback, 1996; IDEAM, 2005; Wallace y Vogel, 1994).

Condiciones del océano Pacífico durante La Niña. Durante La Niña se pueden identificar cuatro fases: Inicio, desarrollo, madurez y debilitamiento o retorno a la normalidad. Durante la **fase inicial** se observa un significativo fortalecimiento de los vientos Alisios del Este y una intensificación de la surgencia (Movimiento del agua desde la profundidad hacia la superficie) frente a las costas de Ecuador y Perú, la cual genera una fuente de agua fría en la superficie, que posteriormente se propaga hacia el Occidente. En la **fase de desarrollo** las aguas frías se desplazan desde la costa Suramérica hacia el Occidente y cubren el Pacífico tropical oriental y central. En la **fase de madurez** los vientos Alisios soplan con mayor intensidad en la mayor parte del Pacífico tropical y se presenta el máximo enfriamiento en los sectores central y oriental del Pacífico tropical (Figura 11); en la **fase de debilitamiento** o de retorno a condiciones normales se aprecia una disminución en la intensidad de los vientos Alisios y las aguas cálidas nuevamente fluyen desde el Occidente (IDEAM, 2005; Philander, 1990; Trenberth, 1997; Wallace y Vogel, 1994).

Consideraciones prácticas

El evento de La Niña en Colombia genera incrementos en las lluvias con valores entre 20% y 40% por encima de los valores esperados, los cuales ocurren en forma muy localizada en áreas del nororiente, centro y sur de la región Andina, y el nororiente de la región Caribe. Se presentan núcleos muy puntuales con excedentes de lluvia severos (Mayores del 40%) en La Guajira, norte del Magdalena, los Santanderes, Cundinamarca y un sector entre Tolima y Valle (IDEAM, 2005).



http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?endYear=&sse=&minLat=&endDay=&maxLon=&ssn=&palette=rgb&format=JPEG&h=&size=full&ssw=&w=&duration=day&maxLat=&pg=8&minLon=&sss=&startYear=&startDay=&datasetId=AMSRE_SSTa_N_M&sourceDatasetId=&startMonth=&endMonth=

Figura 11.

Condición del océano Pacífico durante La Niña. Se observa el enfriamiento en la superficie del océano Pacífico ecuatorial. Las superficies rojas representan una temperatura superior a la media y las azules una temperatura inferior.

Amenaza climática ocasionada por las fuentes de variabilidad climática inter-anual (El Niño/La Niña-ENSO)

Comprendidas las principales fuentes de **amenaza climática** para la caficultura Colombiana, respecto a la **amenaza climática** ocasionada por los eventos de El Niño y La Niña-ENSO (Variabilidad climática interanual), surgen las siguientes preguntas que se van a resolver a lo largo del capítulo.

Preguntas importantes	
Pregunta	Respuesta
1. ¿La amenaza se puede evitar?	No
2. ¿La amenaza es constante o permanente?	No
3. ¿La amenaza afecta a todos por igual?	No
4. ¿La amenaza se puede predecir o estimar con anterioridad?	Sí

Con respecto a las dos primeras preguntas, se puede afirmar que la **amenaza** ocasionada por fuentes de variabilidad climática interanual no se puede evitar, porque es un fenómeno producto de la interacción océano-atmósfera y no es constante; en el caso de los fenómenos de El Niño/La Niña son fenómenos atmosféricos de intensidad, duración y frecuencia variable.

Por ejemplo, respecto a la intensidad podemos decir que los eventos de El Niño registrados en los años 1987 y 1997 fueron los más fuertes que se hayan conocido desde 1962 a 2012, con valores promedio del índice oceánico de El Niño (ONI) de +1,29°C y +1,25°C (Calculado de la base de datos del ONI publicado por NOAA); respecto a la duración podemos decir que el evento de La Niña de mayor duración en meses seguidos, con valores de ONI inferiores a -0,5°C fue el registrado entre mayo de 1973 y mayo de 1976, con un total de 37 meses seguidos en

La Niña, respecto a la frecuencia se puede afirmar que en el período de 1946 a 1975, el 74,4% de los meses estuvieron en condiciones de La Niña, y el 25,4% de los meses en condiciones de El Niño, y para el período 1976 a 2006, el 69,1% de los meses estuvieron en condiciones de El Niño y el 30,9% de los meses en condiciones de La Niña.

Con relación a la tercera y cuarta pregunta, se puede decir que la amenaza no afecta a todos por igual y que se puede predecir o estimar con anterioridad.

Por ejemplo, Ramírez y Jaramillo (2009) reportan que la lluvia se correlaciona con los cambios de temperatura del océano Pacífico en la región 3.4, que comprende un área en el océano Pacífico entre 05° S - 05° N de Latitud y 170° W - 120° W de Longitud, y encontraron zonas donde 6 de los 12 meses pueden estar influenciadas por eventos de El Niño/La Niña hasta otras que pueden estar afectadas solo un mes (Tabla 3).

Respuesta similar se observa al evaluar el efecto de los eventos de El Niño/La Niña-ENSO sobre el brillo solar (Tabla 4), en donde hay zonas que en la serie presentan en promedio una reducción en 4,2% del brillo solar en años La Niña respecto a los años El Niño, y zonas con reducción hasta del 15,3% en el brillo solar en años La Niña respecto a años El Niño (Ramírez y Jaramillo, 2012a).

Peña et al. (2012) reportan que los cambios de temperatura del océano Pacífico en la región 3.4 presentan los mayores coeficientes de correlación con la lluvia en la zona centro-occidental de Colombia (Figura 12). Por otra parte, afirman que El Niño y La Niña (ENSO) no siempre son una **amenaza**, reportando que hay zonas del país donde La Niña representa una mayor amenaza para la caficultura y otras donde El Niño es una mayor amenaza (Figura 13).

Tendencia similar se ha observado con el brillo solar, en donde Ramírez y Jaramillo (2012) encuentran que la cordillera Central, en sus dos vertientes, desde el Sur hasta el Norte del país, presenta los mayores coeficientes de correlación entre el brillo solar y los cambios de temperatura del océano Pacífico (Tabla 5).

Consideraciones prácticas

Con respecto al **riesgo agroclimatológico** es muy importante conocer las fuentes de amenaza climática, y tener cada vez mejores herramientas para predecirla y cuantificarla.

Departamento Estación	Municipio	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud metros	Cordillera Vertiente	Meses con alteración en la lluvia
Antioquia - El Rosario	Venecia	05 58	75 42	1.635	Central-Occidental	Enero-Febrero-Junio-Agosto-Septiembre-Diciembre
Caldas - Cenicafé	Chinchiná	05 00	75 36	1.310	Central-Occidental	Enero-Febrero-Marzo-Agosto-Diciembre
Caldas - Naranjal	Chinchiná	04 58	75 39	1.381	Central-Occidental	Enero-Febrero-Marzo-Julio-Agosto-Septiembre-Diciembre
Caldas - Agronomía	Manizales	05 03	75 30	2.088	Central-Occidental	Enero-Febrero-Marzo-Julio-Agosto-Diciembre
Caldas - Santa Helena	Marquetalia	05 19	75 00	1.395	Central-Oriental	Enero-Junio-Agosto-Noviembre-Diciembre
Caldas - Santágueda	Palestina	05 04	75 40	1.026	Central-Occidental	Enero-Febrero-Julio-Diciembre
Cundinamarca - Santa Bárbara	Sasaima	04 56	74 25	1.478	Oriental-Occidental	Agosto
Tolima - La Trinidad	Líbano	04 54	75 02	1.456	Central-Oriental	Febrero-Agosto-Noviembre
Valle - Albán	El Cairo	04 47	76 11	1.510	Occidental-Occidental	Enero-Junio-Agosto-Diciembre
Valle Julio Fernández	Restrepo	03 49	76 32	1.381	Occidental-Occidental	Enero-Febrero-Junio-Agosto

Tabla 3.

Meses en los que la lluvia se relaciona con los cambios de temperatura del océano Pacífico en diferentes localidades de la zona cafetera de Colombia (Ramírez y Jaramillo, 2009).

Localidad	Total anual (Horas)				Diferencia anual (Horas)	Reducción anual (%)
	El Niño	D.E.	La Niña	D.E.		
Ospina Pérez-Nariño	1.808	254	1.531	288	277	15,3
Jorge Villamil-Huila	1.272	234	1.110	219	162	12,7
Manuel Mejía-Cauca	1.875	250	1.570	294	305	16,3
Manuel Mallarino-Valle del Cauca	1.680	254	1.461	256	219	13,0
Tibacuy-Cundinamarca	1.610	252	1.434	281	175	10,8
Paraguaicito-Quindío	1.830	272	1.566	266	264	14,4
Chapetón-Tolima	1.812	232	1.586	240	227	12,5
El Jazmín-Risaralda	1.561	275	1.322	312	239	15,3
Naranjal-Caldas	1.845	252	1.608	282	236	12,8
Santa Helena-Caldas	1.669	313	1.458	359	212	12,7
Bertha-Boyacá	1.928	304	1.710	359	218	11,3
El Rosario-Antioquia	2.119	289	1.863	326	256	12,1
Aguas Blancas-Santander	1.461	256	1.389	272	72	4,9
Francisco Romero-Norte de Santander	1.650	287	1.409	267	241	14,6
Pueblo Bello-Cesar	2.368	243	2.267	269	101	4,2

Tabla 4.

Reducción histórica anual de brillo solar durante La Niña respecto a El Niño, en diferentes localidades de la zona cafetera de Colombia (Ramírez et al., 2012).

D.E: Desviación estándar.

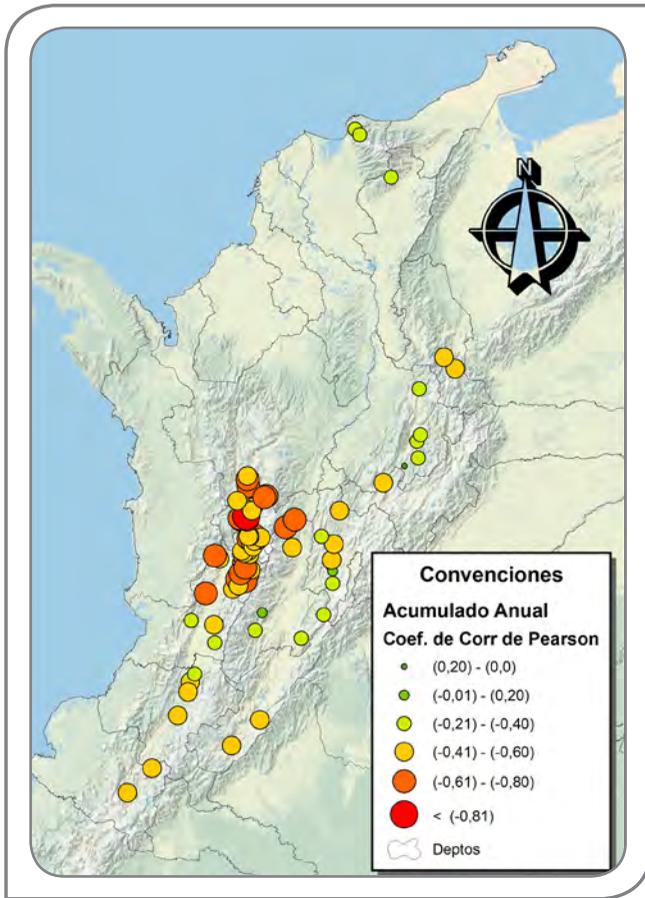


Figura 12.

Primera aproximación al mapa de amenazas por efecto de El Niño y La Niña en la zona cafetera de Colombia (Peña et al., 2012). A mayor tamaño de los círculos mayor es la amenaza.

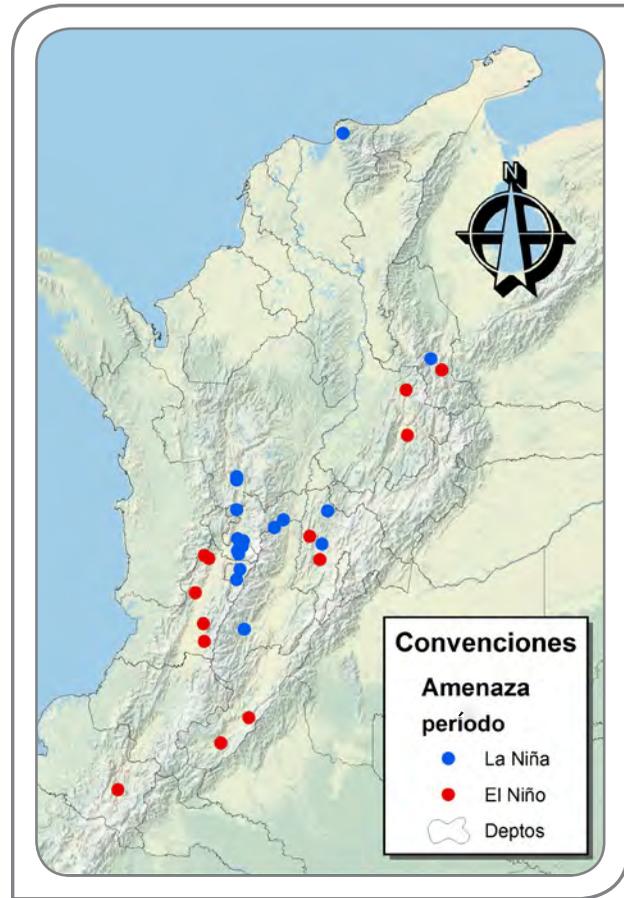


Figura 13.

Primera aproximación al mapa de amenazas por lluvia atribuibles al efecto de El Niño y La Niña en la zona cafetera de Colombia (Peña et al., 2012).

Estación agroclimático	Latitud Norte		Cordillera-Vertiente	Altitud (m)	Número de meses con r mayor de 0,4
	Grados	Minutos			
El Jazmín	04	55	Central-Occidental	1.365	3
Ospina Pérez	01	15		1.609	4
Naranjal	04	58		1.381	5
El Rosario	05	58		1.365	5
Manuel Mejía	02	24		1.735	6
Paraguaicito	04	24		1.202	7
Santa Helena	04	19	Central-Oriental	1.395	2
Chapetón	04	28	1.533	4	
Manuel Mallarino	04	13	Occidental-Oriental	1.331	5
Jorge Villamil	02	20	Oriental-Occidental	1.420	0
Aguas Blancas	06	50		964	1
Bertha	05	53		1.677	3
Tibacuy	04	22		1.538	4
Francisco Romero	07	44		903	4

Tabla 5.

Número de meses con coeficientes de correlación (r) entre el ONI y el brillo solar superior a 0,4 para diferentes puntos de la zona cafetera de Colombia (Ramírez y Jaramillo, 2012).

Recomendaciones prácticas

En la variabilidad climática intra-anual, ENSO juega un papel preponderante. Actualmente se tienen conocimientos avanzados sobre las implicaciones de El Niño, que permiten conocer desde su inicio cuáles son las condiciones climáticas que predominarán en el año siguiente, y así emprender acciones para disminuir sus efectos.

Registre la lluvia diaria en la finca o consulte los registros de una estación climática cercana a su finca para evaluar la disponibilidad de agua en el suelo. Recuerde que de 35 a 40 días sin lluvia pueden empezar a ocasionar daños en la producción. Solicite la asesoría en la Disciplina de Agroclimatología de Cenicafé (www.cenicafe.org) o del Extensionista del Comité de Cafeteros de su municipio, quien le dará información y orientación.

El seguimiento de los eventos de El Niño-La Niña-Condiciones Neutras en el océano Pacífico se puede realizar en tiempo real, en varias páginas de Internet:

- <http://bart.ideam.gov.co/wrfideam/wrf/semanal18/index.php>
- <http://www.ideam.gov.co:8080/nino2009/nino.htm>
- http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/currentinfo/ENSO_Quick_Look.pdf
- http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc_Sp.html
- http://www.ciifen-int.org/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=18&Itemid=107
- <http://portal.iri.columbia.edu/portal/serverpt?space=CommunityPage&control=SetCommunity&CommunityID=944&PageID=0>
- <http://www.bom.gov.au/climate/enso/>

Literatura citada

- ACCEFYN - Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; ICSU -International Council for Science. *La ciencia para entender el mundo del mañana: Cambio global*. Editora Guadalupe Ltda. Bogotá. 321p. 1994
- ARNTZ, W. E.; E. FAHRBACH. *El Niño; experimento climático de la naturaleza, causas físicas y efectos biológicos*. Fondo de Cultura Económico. México.1996. 312p.
- CHAVARRO, P.M.; GARCÍA, G.A.; GARCIA, P.J.; PRIETO, R.A.; ULLOA, C.A. 2008. *Amenzas, riesgos, vulnerabilidad y adaptación frente al Cambio Climático*. Naciones Unidas/Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial/ Universidad Nacional de Colombia. 58p.
- COMET. *Introducción a la meteorología tropical*. University Corporation for Atmospheric Research. Segunda edición. 2011. http://www.meted.ucar.edu/tropical/textbook_2nd_edition_es/index.htm
- IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. *Atlas climatológico de Colombia*. 2005. 218 p.
- JARAMILLO, R., A. *Clima Andino y café en Colombia*. Cenicafé. 2005. 192p.
- PHILANDER, S. G. *El Niño, La Niña, and the southern oscillation*. San Diego, Academy Press, Inc. 1990. 293p.
- PIDWIRNY, M.; SCOTT, J. *Physical geography*.2010.<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7y.html>
- PEÑA, Q.A.J.; RAMÍREZ, B.V.H.; VALENCIA, A. J.A.; JARAMILLO, R.A. *La lluvia como factor de amenaza para el cultivo de café en Colombia*. Avances Técnicos Cenicafé No 415. 8p.2012.
- POVEDA, J. G. *La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna*. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales XXVIII (107): 201- 221. 2004.
- POVEDA, J. G.; JARAMILLO, A.; MANTILLA, R. *Influencia del evento cálido del Pacífico en la humedad del suelo y el índice normalizado de vegetación en Colombia*. Cenicafé 51(4): 263-271. 2000.
- POVEDA J., G.; JARAMILLO R., A.; GIL, M.M.; QUICENO, N.; MANTILLA, R. *Seasonality in ENSO-related precipitation, river discharges, soil moisture, and vegetation index in Colombia*. Water Resources Research 37(8):2169-2178. 2001.
- RAMÍREZ B., V. H.; JARAMILLO R., A. *Relación entre el Índice Oceánico de El Niño (ONI) y la lluvia en la región andina central de Colombia*. Cenicafé 60(2):162-173. 2009
- RAMÍREZ, B. V. H.; JARAMILLO, R. A. *Relación entre índices de El Niño/La Niña (ENSO) y el brillo solar en la zona cafetera de Colombiana*. Cenicafé. (en edición). 15p. 2012.
- TRENBERTH, K. E. *The definition of El Niño*. Bulletin of the American Meteorological Society 78(12): 2771-2777. 1997.
- TROJER, H. *El ambiente climatológico y el cultivo del café en Colombia*. Boletín Informativo (Colombia) 5(57): 22-37. 1954.
- TROJER, H. *Fundamentos para la zonificación meteorológica y climatológica del trópico especialmente en Colombia*. Cenicafé 10(8): 289-373. 1959.
- WALLACE, J., M.; VOGEL, S. *“El Niño” y la predicción climática*. Informes a la Nación; sobre nuestro cambiante planeta. Boulder, University Corporation for Atmospheric Research - NOAA. 1994. 24p.

Gestión del riesgo agroclimático

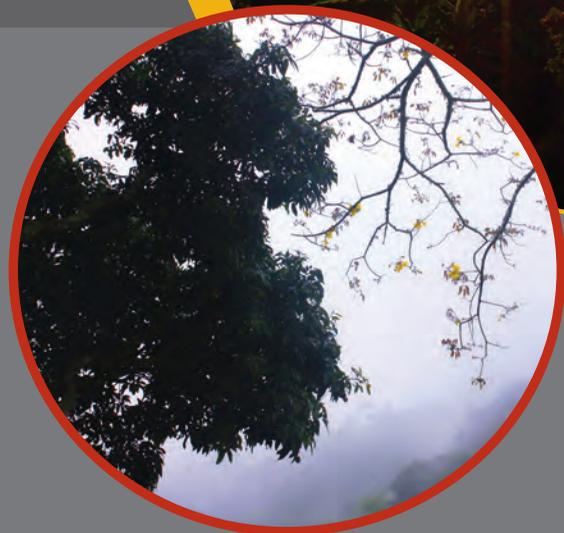
Vulnerabilidad y capacidad de adaptación del sistema de producción de café

Víctor Hugo Ramírez Builes; Álvaro Jaramillo Robledo;
Andrés Javier Peña Quiñones

Dentro de las estrategias definidas por la Institucionalidad Cafetera para recuperar y estabilizar la producción en el país, se encuentra **la gestión del riesgo agroclimático**. La **amenaza al sistema de producción de café**, en este caso, es de tipo climático y se refiere a la probabilidad de que cambios en las variables climáticas lo afecten. La **vulnerabilidad** hace referencia a que el sistema de producción reduzca su capacidad productiva al ser expuesto a la **amenaza**, y la **capacidad de adaptación** es el potencial que tiene el sistema de producción de modificarse frente a una amenaza o de dar respuesta a ella.

La amenaza climática trae consigo variaciones en el comportamiento de los elementos del clima: Cambios en la precipitación, reducción en la temperatura media del aire, en las temperaturas máxima y mínima, en el brillo y la radiación solar y en la humedad atmosférica. Estos cambios generan a su vez cambios en las tasas de evapotranspiración e intercambio gaseoso y en la humedad del suelo, por lo tanto varía la productividad del sistema.

Lo anterior significa que respecto a la **amenaza** es importante conocer las fuentes y tener cada vez mejores herramientas para predecirla y cuantificarla, y desde el punto de vista de los sistemas de producción hay que trabajar en conocer, entender y reducir la **vulnerabilidad**, y en desarrollar, evaluar e implementar estrategias que permitan incrementar su **capacidad de adaptación**.



Vulnerabilidad del sistema de producción café a la amenaza climática

Respecto a la **vulnerabilidad** del sistema de producción de café a la amenaza climática, desde el punto de vista biofísico se puede decir que los sistemas de producción de café en Colombia son vulnerables al déficit y el exceso hídrico, a la reducción o aumento de la radiación solar, a la reducción o aumento de la temperatura del aire, al viento y el granizo, a las pérdidas de suelo por erosión y movimientos en masa y de nutrientes por percolación y escorrentía.

Surgen entonces las siguientes preguntas que se responderán a lo largo del capítulo:

Preguntas importantes	
Pregunta	Respuesta
¿La vulnerabilidad es igual para todos los sistemas de producción?	No
¿La vulnerabilidad puede estimarse?	Sí

Con relación a la primera pregunta, **¿La vulnerabilidad es igual para todos los sistemas de producción?** se parte de considerar que los cambios en el comportamiento del clima pueden afectar en diferente grado o proporción el cultivo de café, haciéndolo más o menos vulnerable, por lo que el grado de afectación sobre el cultivo dependerá de varios factores a saber: Ubicación altitudinal, longitudinal

y latitudinal del sistema de producción, tipo de suelo (Propiedades físicas y químicas), características del sistema de producción (Monocultivo, policultivo, sistema agroforestal), variedad, densidad, arreglo espacial y prácticas de manejo.

En las Figuras 1 y 2 se ilustra por ejemplo, cómo se espera que sea la respuesta del cultivo de café a dos escenarios de variabilidad climática, El Niño y La Niña, en función de la disponibilidad hídrica.

Como la caficultura colombiana se distribuye a lo largo de las cordilleras del país, con variabilidad espacial y temporal de la distribución de los elementos del clima, la respuesta del cultivo del café a los eventos de El Niño y La Niña, no obstante, va a ser variada.

La incidencia de El Niño en la zona cafetera de Colombia está asociada principalmente a la deficiencia hídrica en el suelo y a sus efectos sobre el cultivo del café, sin embargo sus efectos no se pueden generalizar; es así como en algunas regiones con bajo brillo solar y alta lluvia su efecto puede ser benéfico para la producción de café por los incrementos en el brillo solar; en otras regiones puede ejercer una acción perjudicial, como por ejemplo, en zonas cálidas, con suelos de baja retención de humedad y en regiones con lluvias inferiores a 1.500 mm al año.

En la región cafetera de Colombia se ha observado que cuando se presenta El Niño se disminuyen las cantidades de lluvia esperadas, especialmente durante los meses de menor lluvia como son diciembre, enero, febrero, junio, julio y agosto (Jaramillo *et al.*, 1999; Ramírez y Jaramillo, 2009). El Niño tiene una menor influencia sobre las zonas cafeteras Norte (A más de 7° de latitud Norte) y

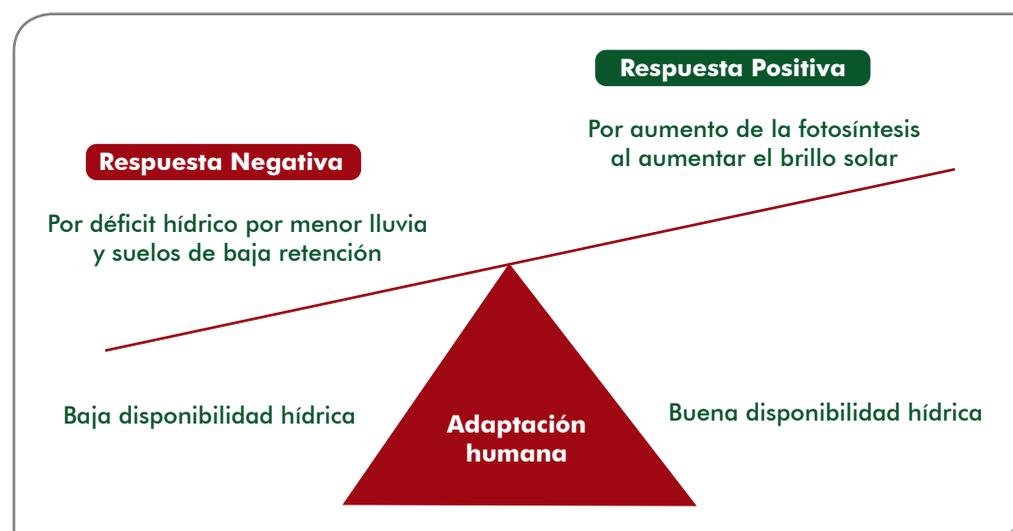


Figura 1.

Respuesta del cultivo del café en escenarios de El Niño en función de la disponibilidad hídrica.

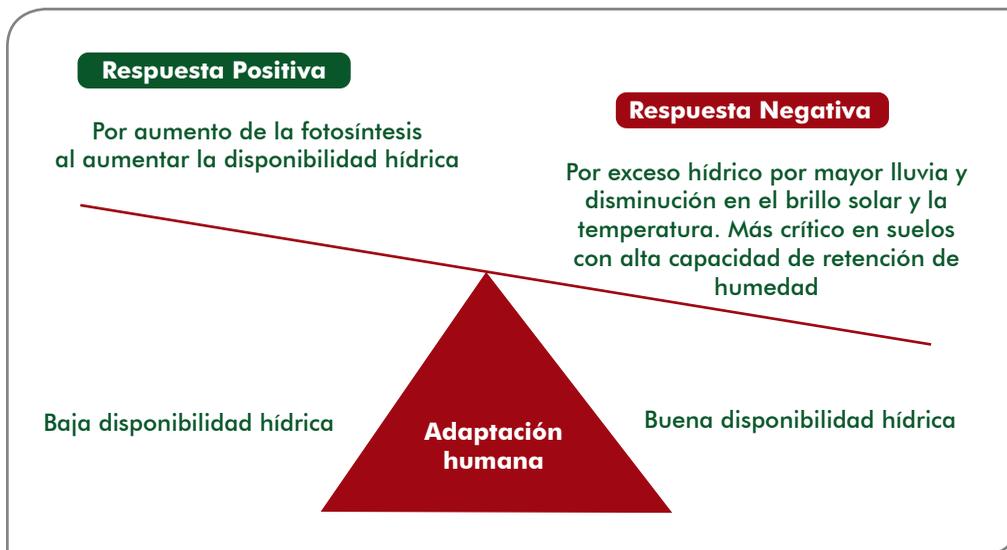


Figura 2.

Respuesta del cultivo de café en escenarios de La Niña en función de la disponibilidad hídrica.

Sur (Por debajo de 3° de latitud Norte); la región de mayor riesgo corresponde a la zona cafetera Central (Entre los 3° y 7° Norte) y para altitudes menores a los 1.300 m (Temperatura media mayor de los 21,5°C).

En la zona cafetera de Colombia durante los eventos de La Niña, se presenta un aumento en las cantidades de lluvia entre el 5% y 58% y disminuciones en el brillo solar y la temperatura (Guzmán y Baldián, 1999). Sin embargo sus efectos no se pueden generalizar, es así como en regiones con baja lluvia anual (Menor a los 1.500 mm), el aumento en las cantidades de lluvia favorece el desarrollo y crecimiento de los cultivos, entre ellos, el café. En las regiones donde normalmente se presentan altas cantidades de lluvia anual (Mayor a los 2.500 mm) los excedentes de lluvia y la disminución del brillo solar pueden ejercer una acción perjudicial en la producción de café y, adicionalmente, un aumento en la incidencia y la severidad de las enfermedades. Otros efectos a considerar durante La Niña son los procesos erosivos asociados a la sobresaturación de los suelos y a las altas pendientes, que dan origen a movimientos en masa y derrumbes, ocasionando daños en la infraestructura vial y en las construcciones, y con frecuencia con pérdidas humanas (IDEAM, 2005; Poveda *et al.*, 2000).

Los siguientes ejemplos, permiten seguir dando respuesta a las preguntas anteriores.

Ejemplo 1. Vulnerabilidad al exceso hídrico

El sistema de producción de café es vulnerable al exceso hídrico, el cual genera una disminución en el número de botones florales en el cultivo de café.

De acuerdo con Ramírez *et al.* (2011), el número de botones florales en café se reduce debido al exceso hídrico (Figura 3) cuando se presentan más de 20 días por trimestre con valores del índice de humedad del suelo (IHS) mayores a 0,5 (Ramírez *et al.*, 2010b). En la Figura 4 se observa que existen zonas en las cuales se reduce la floración con pocos días de exceso hídrico, entre 20 y 30 días por trimestre, como La Trinidad en Líbano (Tolima), a diferencia de zonas como Naranjal en Chinchiná (Caldas) o El Rosario en Venecia (Antioquia).

El exceso hídrico *per se* no es solo la causa en la reducción en el número de botones florales en café. Es necesario



Figura 3.

Efectos del exceso hídrico en café. Proliferación o sobre-expresión de yemas vegetativas.

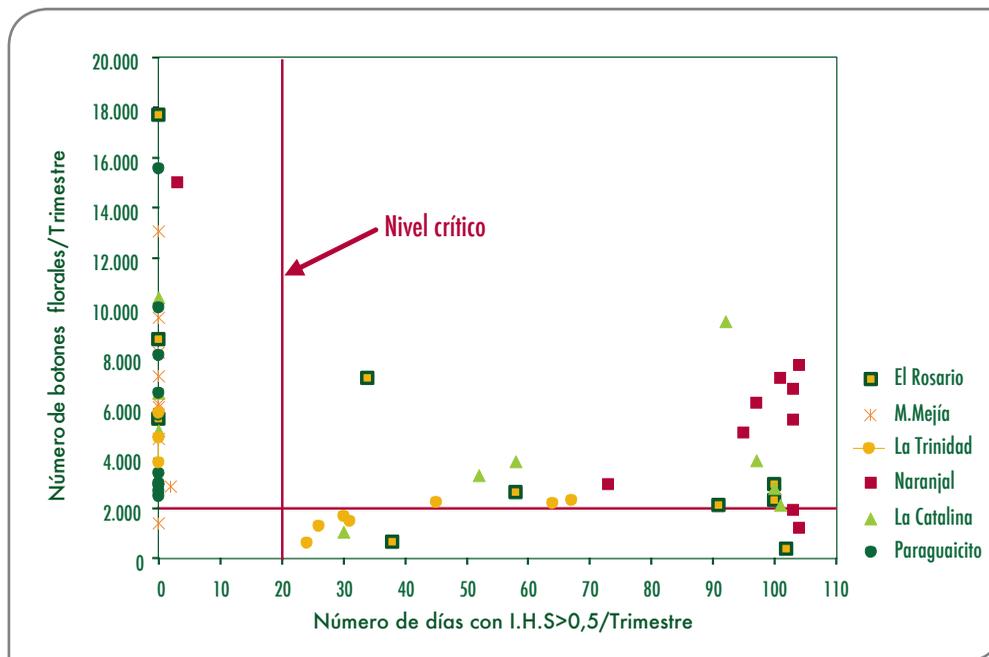


Figura 4.

Relación entre el exceso hídrico representado por el índice de humedad del suelo (IHS >0,5) y la reducción en el número de botones florales por trimestre (Ramírez et al., 2011).

resaltar que éste viene acompañado de una disminución de energía (Brillo solar y temperatura), factores que permiten la acumulación de botones florales, y al haber exceso hídrico, se reduce el déficit hídrico, el cual es un factor determinante en el estímulo a la floración.

La floración del café es un evento asociado estrechamente con las condiciones climáticas de cada región. Cuando las flores alcanzan el estado de “comino” (Figura 5), se mantienen en un período de reposo que

puede durar varias semanas. Para que se termine este período de reposo y ocurra la floración, además de la madurez apropiada de los “cominos”, se necesita de un estrés proporcionado por períodos secos de mediana a larga duración, y que además este período seco sea interrumpido por una lluvia o cambios bruscos de temperatura (Jaramillo y Arcila, 2009a).

Los períodos de exceso de lluvia durante las épocas habituales de mayor floración ocasionan que los



Figura 5.

Ramas de café con botones florales en estado de latencia (“cominos”) y desuniformidad en el desarrollo de frutos como consecuencia de la dispersión de la floración.

“cominos” permanezcan en reposo durante un tiempo más largo, y que en consecuencia las floraciones sean dispersas, muy poco concentradas, de poca magnitud o que se presenten anomalías en el desarrollo de la flor, como es el caso de las “flores estrellas” o el secamiento de los “cominos” (Arcila, 2007).

La flor estrella en el café es una anomalía en el desarrollo de la flor que se caracteriza porque la flor se abre prematuramente y todas sus partes aparecen diminutas y de color blanquecino, dando apariencia estrellada (Figura 6a). La presencia de esta anomalía, se puede interpretar como el resultado de condiciones ambientales desfavorables durante el proceso de la floración. Por las características de alta disponibilidad de agua y temperaturas altas en la mayor parte de la zona cafetera, la formación de yemas florales es continua, razón por la cual en la época de floración se presentan yemas de diferentes edades. La presencia de yemas con insuficiente desarrollo o en épocas por fuera del período normal de floración y el acondicionamiento inadecuado de estas yemas, por falta de períodos secos definidos, favorecen el fenómeno de flor estrella. La ocurrencia de temperaturas altas (Por encima de 28°C) durante los estados tempranos del desarrollo de la flor también causan esta anomalía (Arcila, 2007).

Las condiciones microclimáticas en el café juegan un papel importante en el secamiento de los “cominos” (Figura 6b). Las temperaturas elevadas, alta disponibilidad de agua y buen suministro de nitrógeno, favorecen un desarrollo acelerado de las plantas y a los 2 años de edad se tiene un cultivo con alta densidad de

follaje, en el cual en épocas lluviosas, habrá una alta humedad en el aire, especialmente en el interior de la planta. Las condiciones de alta humedad y temperatura, y adicionalmente, la baja luminosidad, pueden causar pudriciones incipientes, cuando coinciden con la presencia de botones florales en desarrollo, y además propician el incremento de poblaciones de hongos que normalmente no son patogénicos para el café. Si las altas poblaciones del hongo coinciden también con la presencia de yemas florales en desarrollo con lesiones incipientes, se pueden establecer en ellas y causar el secamiento de las yemas (Arcila, 2007).

Otro indicador de vulnerabilidad al exceso hídrico de los sistemas de producción de café se relaciona con la pérdida de nutrientes por exceso hídrico.

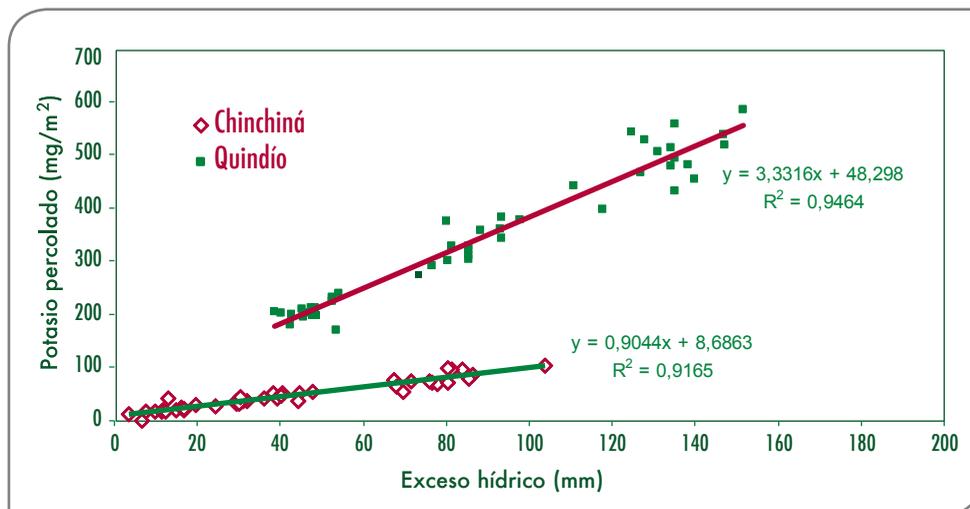
Cabe aclarar que las anomalías descritas generalmente son de carácter temporal y no generalizado, y se restringen a zonas muy específicas.

Ramírez *et al.* (2013) han venido evaluando la vulnerabilidad de diferentes suelos de la zona cafetera de Colombia a perder bases intercambiables como el potasio, el calcio y el magnesio por el exceso hídrico, y han encontrado que las pérdidas de bases intercambiables se relacionan linealmente con el exceso hídrico. En la Figura 7 se observa cómo la unidad Quindío pierde hasta 3,4 veces más potasio por cada milímetro de exceso hídrico que la unidad Chinchiná, lo cual indica que es más vulnerable al exceso hídrico la unidad de suelos Quindío que la unidad Chinchiná.



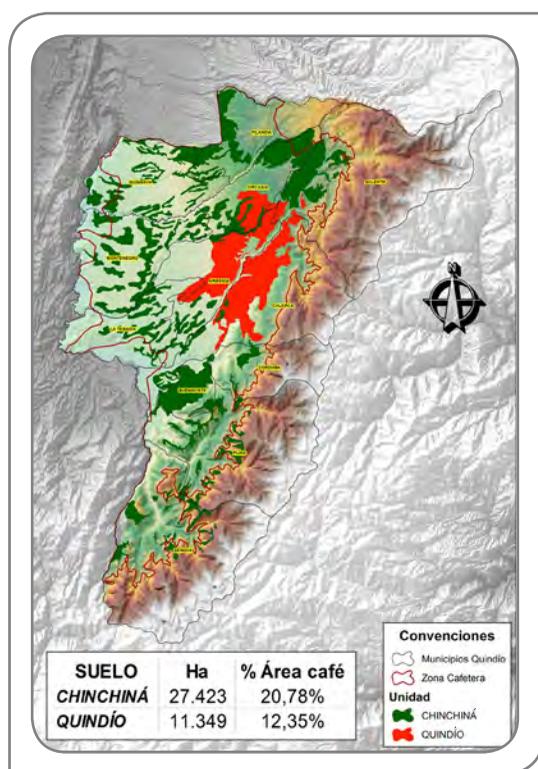
Figura 6.

Anomalías en el desarrollo de la flor del café. **a.** Flores estrella; **b.** Secamiento de botones florales. **c.** Secamiento de botones florales por golpe de sol.

**Figura 7.**

Relación entre las pérdidas de potasio (Percolado) y el exceso hídrico en dos unidades de suelos de la zona cafetera de Colombia.

En un análisis espacial, por ejemplo para el departamento del Quindío, se observa que un área vulnerable a perder potasio por exceso hídrico es de 11.349 hectáreas o un 12,35% del área total cafetera del departamento, al momento del análisis (Figura 8).

**Figura 8.**

Ubicación geográfica de dos unidades de suelos en la zona cafetera del Quindío con diferentes niveles de vulnerabilidad al exceso hídrico¹.

Debido a los excesos de lluvia que se presentan durante La Niña, en los suelos de muchos cafetales se pueden presentar condiciones de sobresaturación, creando condiciones desfavorables para el desarrollo de las plantas, éstas forman un sistema radical limitado que se refleja en un crecimiento débil de la parte aérea, con amarillamiento de hojas, síntomas de deficiencias nutricionales, alta incidencia de mancha de hierro en hojas y frutos, desarrollo deficiente de brotes, defoliación, secamiento de ramas y frutos (Paloteo), baja producción y calidad de los frutos y hasta la muerte de la planta (Arcila, 2007). Los daños dependen de las condiciones físicas del suelo relacionadas con el mal drenaje y poca aireación, por lo cual se recomienda realizar prácticas de drenaje en los cafetales.

Ejemplo 2. Vulnerabilidad al déficit hídrico

El sistema de producción de café es vulnerable al déficit hídrico debido a que después de cada evento de floración se inicia la etapa de llenado del fruto.

La curva de desarrollo del fruto después de la floración consta de cuatro etapas (Arcila, 2007), las cuales presentan las siguientes características:

- **Etapa I.** Etapa de crecimiento lento. 0-60 días después de la floración (ddf).
- **Etapa II.** El fruto crece de manera acelerada y adquiere su tamaño final. La semilla tiene consistencia gelatinosa (61 a 120 ddf).
- **Etapa III.** La semilla o almendra completa su desarrollo, adquiere consistencia sólida y gana peso (121 a 180 ddf).

¹ Comunicación personal: Duque, N. Disciplina de Agroclimatología, Cenicafé. 2013

- **Etapa IV.** El fruto se encuentra fisiológicamente desarrollado y comienza a madurar (181 a 243 ddf).

Las etapas II y III son las que tienen la mayor demanda de agua y nutrientes, por lo tanto, en éstas el déficit hídrico puede traer como resultados llenado parcial del fruto y disminución en su tamaño (Figura 9); la etapa I es de menor demanda de agua, pero si falta, el fruto también sufre daños como aquel conocido comúnmente como fruto seco (Figura 9).

Como más del 95% de la caficultura colombiana no usa riego y es totalmente dependiente de la lluvia, el **cultivo de café es vulnerable al déficit hídrico** y los meses del año más críticos a éste son de enero a marzo y de julio a septiembre, que son los meses históricamente secos y en los cuales se registra la mayor cantidad de frutos de las cosechas del primero y segundo semestres, respectivamente.

De igual manera que con la floración, se ha estimado una relación entre el número de días con déficit hídrico representado en el índice de humedad del suelo-IHS menor a 0,3 y el daño por falta de agua en el cultivo del café (Ramírez et al., 2012b) (Figura 10).

Durante el evento de El Niño, las deficiencias hídricas severas pueden afectar el crecimiento y desarrollo vegetativo y reproductivo de la planta. Mientras que la floración tiende a ser favorecida, el desarrollo foliar, ramas y frutos puede resultar perjudicado. Al final de los períodos secos se acentúa la senescencia y se acelera la defoliación de las plantas (Figura 11). El efecto del



Figura 9.

Tipo de daño en frutos de café por déficit hídrico, **a.** Daños en frutos en etapas I, II y III, frutos negros y vacíos; **b.** Daño en frutos en etapas II, III y IV, frutos parcialmente llenos.

Consideraciones prácticas

Los daños en los frutos de café por efecto de una deficiencia hídrica se pueden clasificar así:

- **Granos flotantes (Vacíos):** Uno o ambos lóculos del fruto aparecen vacíos sin ninguna formación de endospermo. Estos granos al beneficiarse producen el defecto “espuma” o “pasilla”.
- **Granos parcialmente formados:** Uno o ambos lóculos del fruto presentan formación parcial del endospermo, sin que llegue al llenado completo. Estos granos alcanzan a madurar y producen el defecto de “averanado”.
- **Grano negro:** Frutos en un estado de desarrollo muy avanzado, con una ligera tonalidad amarillenta, y que al partirlos muestran una o ambas almendras desarrolladas de un color café oscuro, casi negro. Estos granos al beneficiarlos producen el defecto “espuma” o “pasilla”.
- **Granos pequeños:** El fruto se desarrolla pero adquiere un tamaño final inferior al normal.

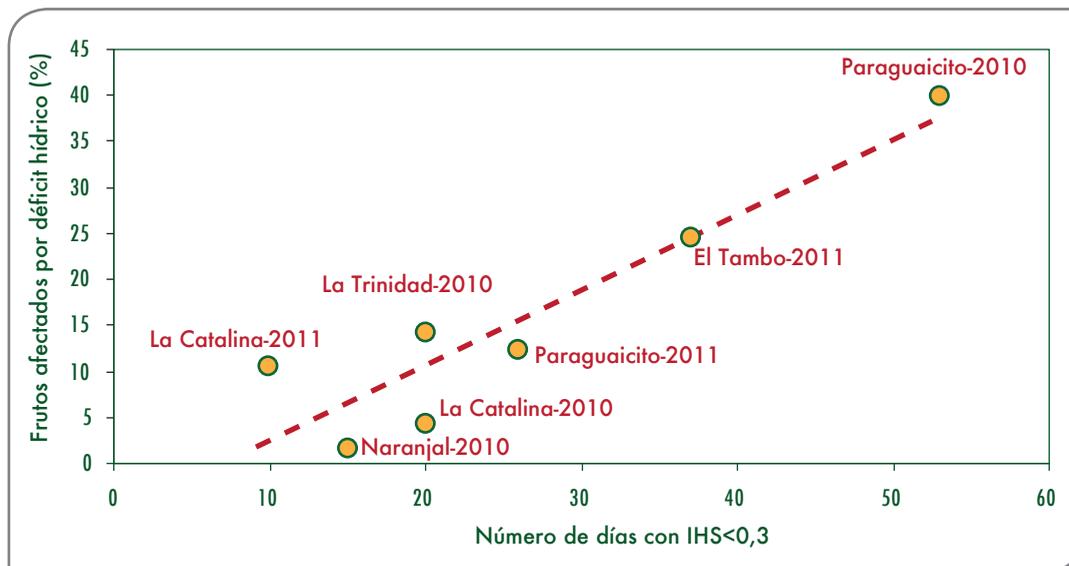


Figura 10.

Relación entre el número de días con IHS < 0,3 y el porcentaje de daño en frutos de café por falta de agua (Ramírez et al., 2012).

déficit hídrico sobre los suelos y cultivos en la zona cafetera se puede interpretar de la siguiente manera: De acuerdo con sus propiedades físicas, cada suelo tiene una capacidad característica de retención de agua. Por ejemplo, un suelo derivado de cenizas volcánicas, como los de la unidad Chinchiná en Naranjal (Caldas) y hasta 50 cm de profundidad, pueden retener 90 mm, mientras que un suelo con baja retención como el de Gigante (Huila), puede retener 39 mm a la misma profundidad; los aportes de lluvia por encima de estos valores de retención se pierden por percolación y escorrentía. El agua almacenada es utilizada para el crecimiento de la planta y sale del sistema a través de los procesos de evaporación y transpiración, procesos que se aceleran al disminuir la humedad ambiental y por aumentos en la intensidad de radiación, la temperatura y el viento (Blore, 1966; Camargo y Pereira 1994; Dagg, 1971).

La magnitud de los daños en la cosecha de café depende de los daños provocados por la deficiencia hídrica

durante la floración y durante la etapa de llenado de los granos, que es crítica para la formación del fruto (Arcila y Jaramillo, 2003; Jaramillo y Arcila, 1996; Salazar et al., 1994).

Ejemplo 3. Vulnerabilidad a la reducción del brillo solar

Existe una relación directa entre el número de horas de brillo solar acumuladas desde la siembra y la producción acumulada (Figura 12), por lo tanto, esta variable puede emplearse como un indicador de la productividad del cultivo del café.

Como se indicó anteriormente, la amenaza climática trae consigo cambios en el brillo solar, por ejemplo, la reducción del brillo solar en años La Niña respecto a años El Niño (Tabla 1) trae reducción en la producción,



Figura 11.

Efecto de la deficiencia de agua sobre las floraciones. Se observan daños en los frutos recién formados (Pueblo Bello - Cesar).

que puede oscilar entre un 7% y un 23% dependiendo de la zona (Figura 13), lo cual indica que la **vulnerabilidad no es igual para todos**.

El brillo solar disminuye con la altitud, sin embargo dicha disminución no es lineal en todo el transecto de la cuenca (Jaramillo, 2005); pero si se analiza una parte del

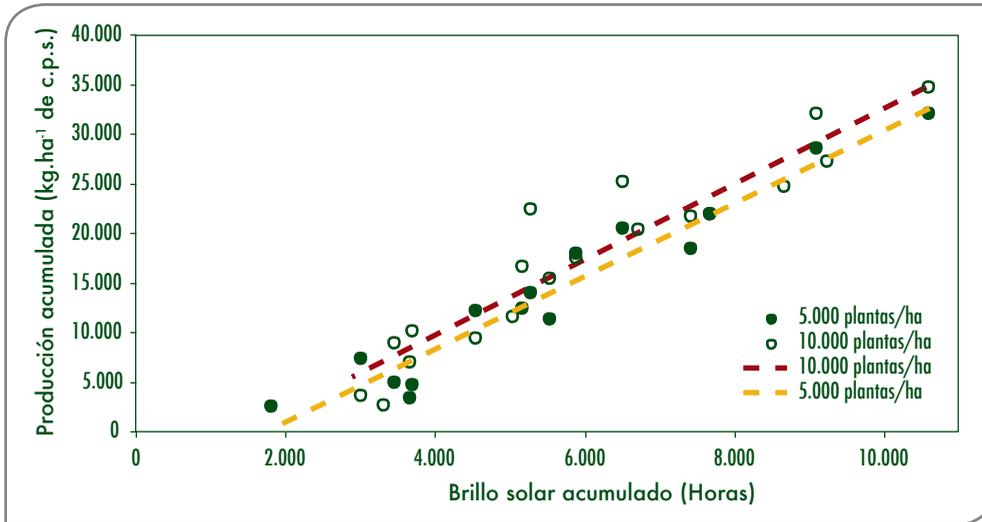


Figura 12.

Relación entre el brillo solar acumulado y la producción de café acumulada en un ciclo de 6 años (Cinco cosechas), en dos densidades de siembra. Datos de la disciplina de Fitotecnia, 1969 a 1985, en café variedad Caturra, en cuatro localidades.

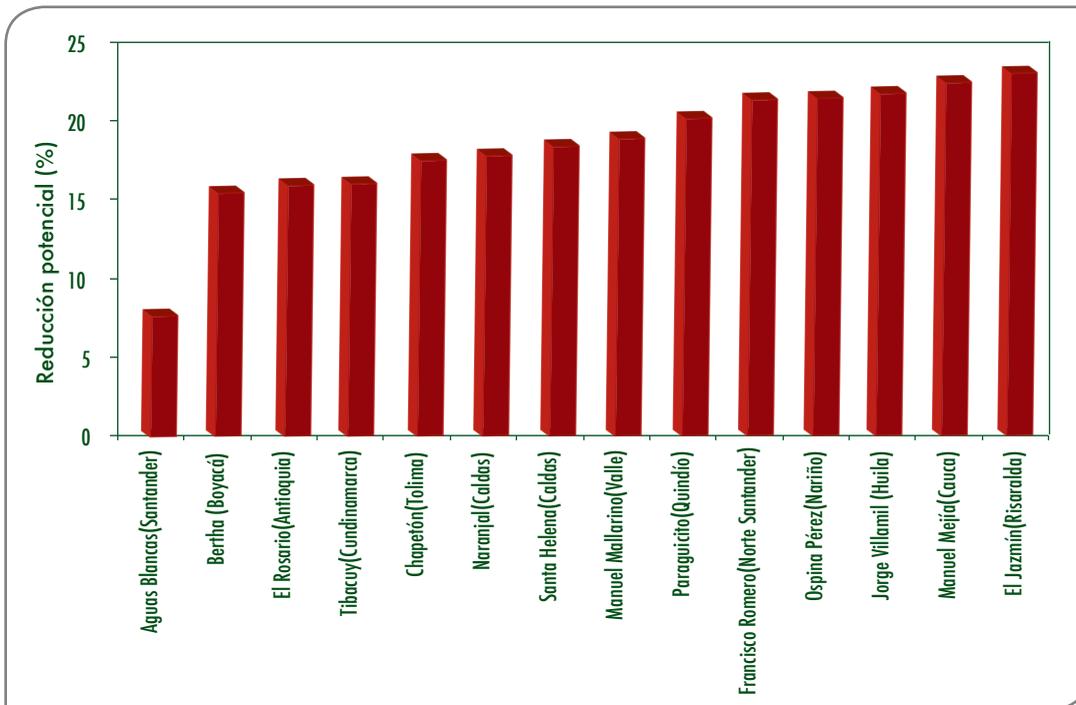


Figura 13.

Reducción en la producción potencial acumulada de café, estimada durante 3 años consecutivos de La Niña respecto a El Niño (Ramírez et al., 2012a).



El brillo solar es una variable que influye en la acumulación de biomasa. Éste se relaciona directamente con el número de botones florales producidos por la planta, por lo tanto, al reducirse el brillo solar de igual manera se reduce el número de botones florales.

Localidad	Período floración	Período respectivo de cosecha	Reducción (%)
Francisco Romero-Norte de Santander	Mayo-Octubre	Enero-Junio	0,0
Pueblo Bello-Cesar	Mayo-Octubre	Enero-Junio	0,0
Jorge Villamil-Huila	Mayo-Octubre	Enero-Junio	4,4
Chapetón-Tolima	Mayo-Octubre	Enero-Junio	5,8
Tibacuy-Cundinamarca	Mayo-Octubre	Enero-Junio	8,7
Ospina Pérez-Nariño	Mayo-Octubre	Enero-Junio	8,9
Manuel Mallarino-Valle del Cauca	Mayo-Octubre	Enero-Junio	10,7
Manuel Mejía-Cauca	Mayo-Octubre	Enero-Junio	12,1
Naranjal-Caldas	Mayo-Octubre	Enero-Junio	13,4
Paraguaicito-Quindío	Mayo-Octubre	Enero-Junio	15,2
El Jasmín-Risaralda	Mayo-Octubre	Enero-Junio	15,8
Santa Helena-Caldas	Mayo-Octubre	Enero-Junio	15,9
El Rosario-Antioquia	Mayo-Octubre	Enero-Junio	17,7
Bertha-Boyacá	Mayo-Octubre	Enero-Junio	20,6
Promedio			10,7
Pueblo Bello-Cesar	Noviembre-Abril	Julio-Diciembre	3,6
Bertha-Boyacá	Noviembre-Abril	Julio-Diciembre	16,6
El Rosario-Antioquia	Noviembre-Abril	Julio-Diciembre	18,9
Tibacuy-Cundinamarca	Noviembre-Abril	Julio-Diciembre	22,1
Naranjal-Caldas	Noviembre-Abril	Julio-Diciembre	22,7
Paraguaicito-Quindío	Noviembre-Abril	Julio-Diciembre	23,7
Santa Helena-Caldas	Noviembre-Abril	Julio-Diciembre	25,8
Manuel Mallarino-Valle del Cauca	Noviembre-Abril	Julio-Diciembre	27,4
Manuel Mejía-Cauca	Noviembre-Abril	Julio-Diciembre	29,8
El Jasmín-Risaralda	Noviembre-Abril	Julio-Diciembre	30,6
Chapetón-Tolima	Noviembre-Abril	Julio-Diciembre	31,7
Francisco Romero-Norte de Santander	Noviembre-Abril	Julio-Diciembre	32,2
Ospina Pérez-Nariño	Noviembre-Abril	Julio-Diciembre	38,1
Jorge Villamil-Huila	Noviembre-Abril	Julio-Diciembre	54,7
Promedio			24,9

Tabla 1.

Estimación de la reducción en el número de botones florales en años La Niña respecto a años El Niño, en diferentes localidades de la zona cafetera de Colombia (Ramírez et al., 2012a).

transecto donde se ubica el grueso de la zona cafetera, entre los 1.000 y los 2.000 m de altitud, se observa una tendencia lineal.

En la Figura 14 se observa el comportamiento lineal del brillo solar anual interpolado cada 100 m de altitud, medido en cuatro estaciones meteorológicas dentro del

transecto, en tres escenarios de variabilidad climática. Se observa que:

- En un año bajo condiciones de El Niño la vulnerabilidad pasa de un potencial productivo alto a medio en altitudes superiores a 1.700 m.
- En condiciones neutras las zonas vulnerables se incrementan y se inician en 1.400 metros de altitud.

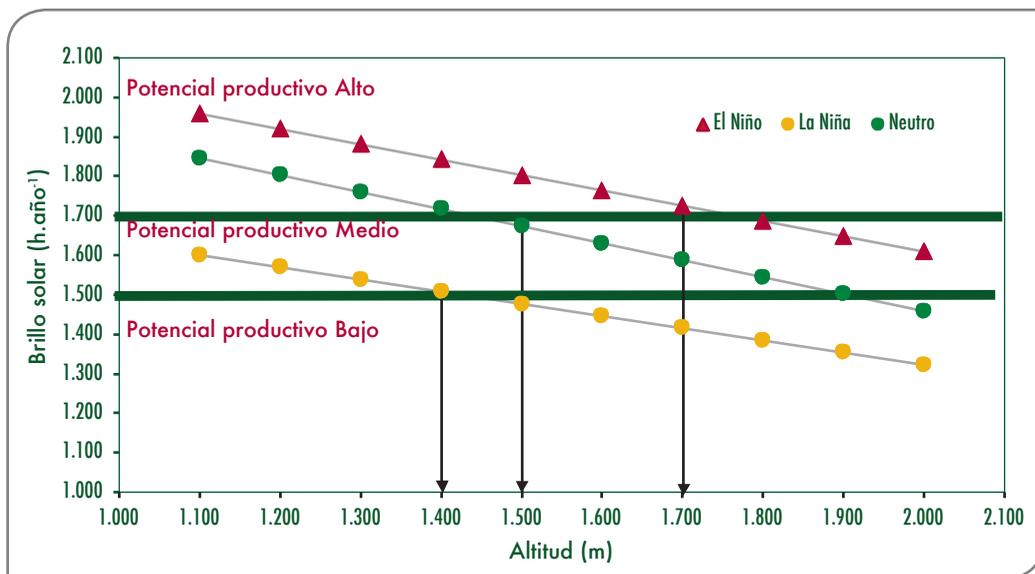


Figura 14.

Comportamiento estimado del brillo solar en función de la altitud en un transecto de la cuenca del río Chinchiná. Brillo solar anual año 2002, año El Niño, ONI promedio = +0,78 °C; 2008, año La Niña, ONI promedio = -0,56 °C; 2005, año neutro, ONI promedio = 0,23 °C. Estaciones meteorológicas: Agronomía 2.088 m, Cenicafé 1.310 m, Naranjal 1.381 m. y Granja Luker 1.031 m de altitud.

- En condiciones de La Niña todas las zonas que están entre 1.100 y 1.300 tienen un potencial productivo medio y aquellas que están por encima de los 1.400 metros aumentan la vulnerabilidad pasando a potencial bajo.

Cafetales con bajas densidades de siembra son más vulnerables a los cambios en radiación que aquellos en altas densidades de siembra (Figura 15), por ejemplo, en un cafetal con una densidad de siembra de 2.500 plantas/ha al reducirse el brillo solar promedio de 6 a 4 h.día⁻¹, la producción potencial disminuye en un 43%; mientras que un cafetal en una densidad de 10.000 plantas/ha al reducirse el brillo solar de 6 h.día⁻¹ promedio a 4 h.día⁻¹, la producción se reduce en un 31% (12% menos).



La vulnerabilidad a la disminución en el brillo solar tiene un efecto sinérgico con la densidad de siembra.

Ejemplo 4. Vulnerabilidad a la temperatura

La temperatura es otro componente energético importante en la producción de café, la temperatura media del aire influye directamente en las tasas de

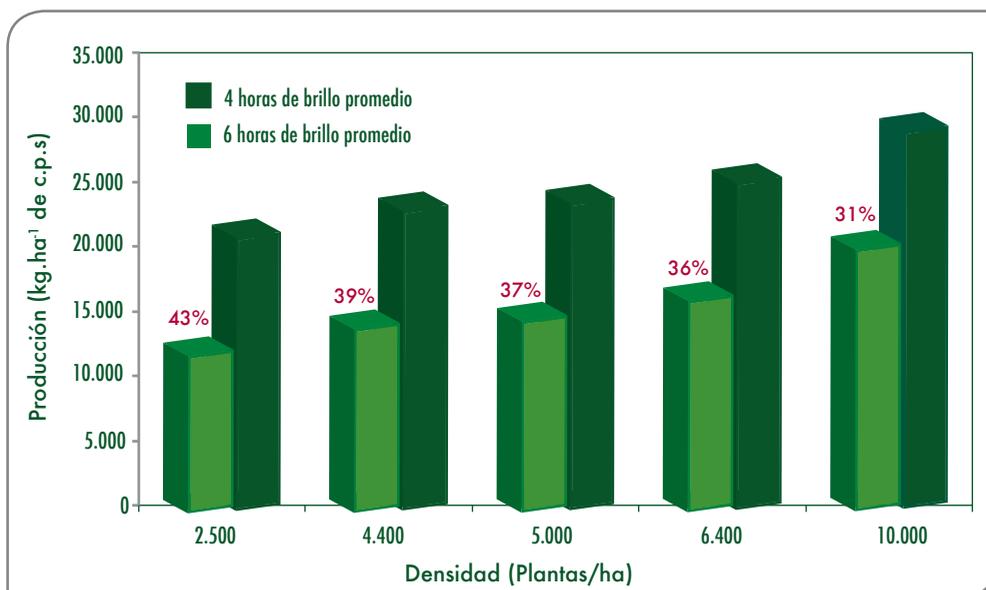


Figura 15.

Relación entre densidad de siembra y brillo solar. Los valores porcentuales indican el incremento en producción para cada densidad por el incremento en brillo solar, (Estimación calculada con datos de experimentos en café var. Caturra, establecidos en El Rosario-Antioquia, Naranjal-Caldas, Paraguaquito-Quindío, Líbano-Tolima y Mesitas-Cundinamarca).

crecimiento del cultivo del café, en las del desarrollo del fruto y en el número de botones florales, a partir de la acumulación térmica.

En la medida en que la temperatura media del aire aumenta, se incrementan las tasas de desarrollo del cultivo, requiriéndose menor número de meses para lograr el máximo desarrollo foliar. Otro factor que influye en el tiempo en que tarda el cultivo en lograr su máximo desarrollo foliar es la densidad de siembra, es así como cafetales con densidades bajas como 2.500 plantas/ha tardan más que cafetales con densidades altas como 10.000 plantas/ha (Arcila y Cháves, 1995) (Figura 16).

Al igual como sucede con en el brillo solar, la densidad de siembra tiene un efecto sinérgico con la temperatura en aumentar la **vulnerabilidad** del cultivo a la disminución de temperaturas, de la siguiente manera: En la medida que desciende la temperatura por el incremento en altitud,

aumenta el número de meses que se tarda el cultivo en alcanzar el máximo desarrollo foliar, por ejemplo: A 2.000 m de altitud un cultivo de café con una densidad de siembra de 5.000 plantas/ha lograría su máximo desarrollo foliar en promedio en 79 meses, mientras que con una densidad de 10.000 plantas/ha tardaría 63 meses, 16 meses menos; a una altitud de 1.000 m la densidad de siembra de 5.000 plantas/ha lograría su máximo desarrollo foliar en 43 meses mientras que la densidad de 10.000 plantas/ha tardaría 34 meses, 9 meses de diferencia (Figura 17). Por lo tanto, los cultivos con bajas densidades de siembra son más vulnerables a bajas temperaturas que aquellos con altas densidades.

Las altas temperaturas también tienen efectos negativos sobre el cultivo del café, por ejemplo, Mosquera et al. (1999) encontraron que las tasas de fotosíntesis neta en café alcanzaban valores máximos a los 25 °C y se reducían a los 35 °C a valores similares que a temperaturas de 15 °C (Figura 18), pero con el agravante que a 35 °C

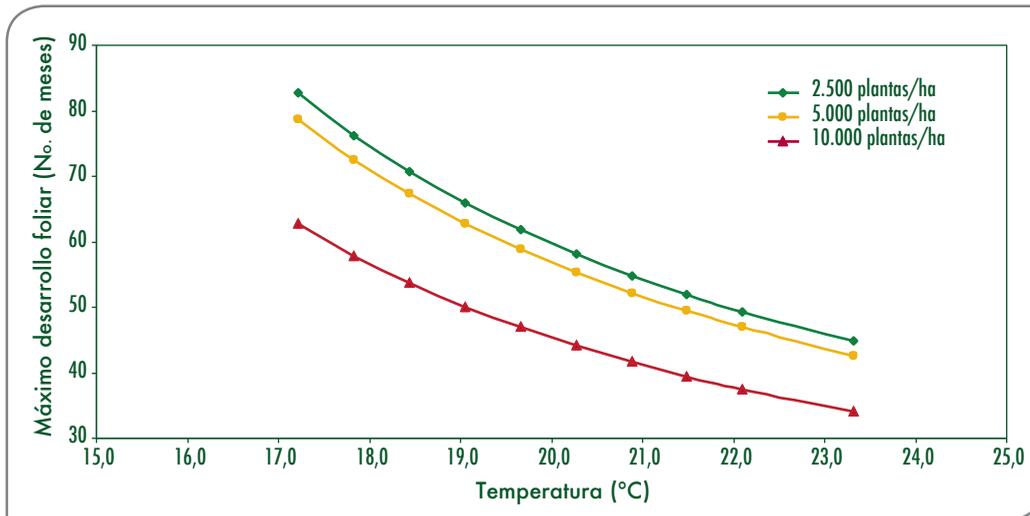


Figura 16.

Tiempo (Meses) en que se logra la máxima tasa de desarrollo foliar en café en diferentes temperaturas promedio y tres densidades de siembra.

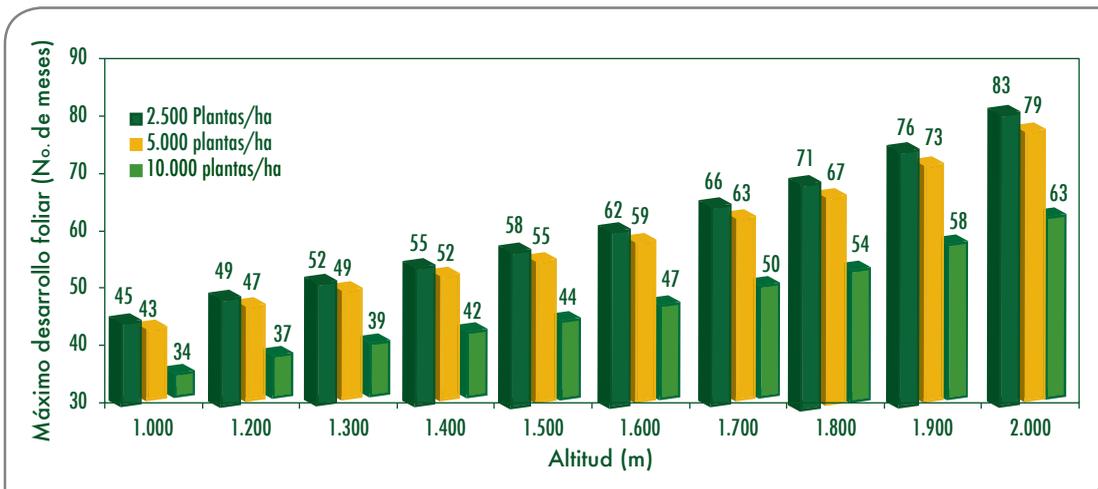


Figura 17.

Relación entre la altitud y la densidad de siembra con el número de meses en que se logra el máximo desarrollo foliar en café (Cálculos para la zona Andina).

se aumenta la fotorrespiración. En la Zona Cafetera Colombiana temperaturas máximas promedio superiores a 25 °C se alcanzan en alturas inferiores a 1.300 m y por debajo de los 1.000 m alcanzan valores de temperatura máxima promedio superiores a 28 °C, y en días secos y en condiciones de El Niño pueden superar los 30 °C.

Al igual que las tasas de desarrollo foliar y la fotosíntesis, la formación de botones florales está directamente influenciada por la temperatura, es así como se ha definido que por cada trimestre se requiere de una acumulación térmica de 1.100 grados para una adecuada floración (Ramírez *et al.*, 2010b; Ramírez *et al.*, 2011), esto equivale a tener una temperatura promedio durante el día de 20°C. En condiciones La Niña la disminución de la temperatura media del aire respecto a El Niño es de casi 1,21°C (Figura 19), es decir, que en condiciones de El Niño un lote en la zona Andina a 1.200 m, que tiene una temperatura media de 22,63°C, en condiciones de La Niña ésta puede disminuir hasta 21,42°C.

Partiendo del trabajo de Chaves y Jaramillo (1998), sobre regionalización de la temperatura media del aire en

Colombia, pueden identificarse las altitudes en donde la temperatura media del aire es de 20 °C (Tabla 2), a partir de esos valores de altitud hacia arriba se hace vulnerable el sistema de producción de café a la disminución en la temperatura, en un escenario de variabilidad climática como el de La Niña.

Los cambios diarios de temperatura representados en la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima conocida también como amplitud térmica ($AT=T_{m\acute{a}x}-T_{m\acute{i}n}$), son igualmente importantes en el estímulo para la floración, cuando las diferencias de temperaturas máxima y mínima son superiores a 10°C se convierte en un factor estimulante de la floración (Ramírez *et al.*, 2010b; Ramírez *et al.*, 2011). En condiciones de La Niña la amplitud térmica promedio anual disminuye (Figura 20).

De acuerdo con Jaramillo (2005), la amplitud térmica también disminuye con la altitud (Figura 21), por lo tanto en condiciones promedio hay zonas que naturalmente van a tener amplitudes térmicas inferiores a 10°C y van a ser más vulnerables a las reducciones en la amplitud

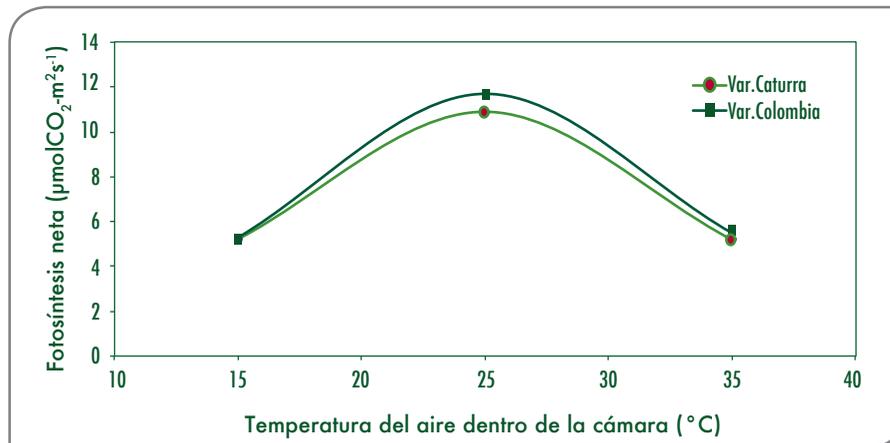


Figura 18.

Comportamiento de la fotosíntesis neta en función de la temperatura para dos variedades de *C. arabica* (Adaptado de Mosquera *et al.*, 1999).

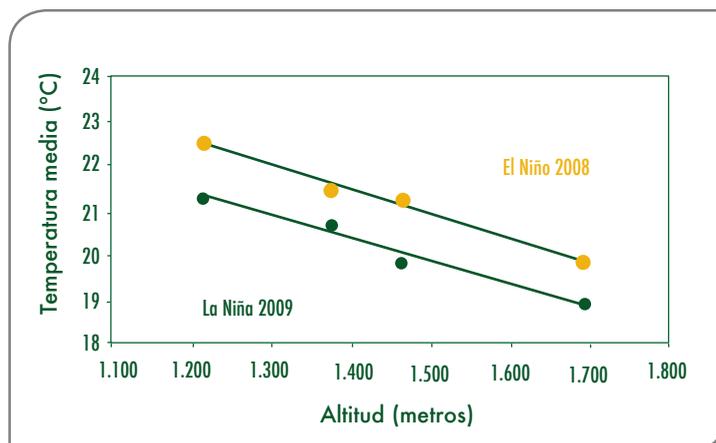


Figura 19.

Comportamiento de la temperatura media del aire en una cuenca de la zona andina de Colombia en condiciones de variabilidad climática (Jaramillo, 2012).

Región	Latitud Norte	Temperatura, (°C)	Altitud (m)
Pacífica	< 3°	20	1.223
	3° - 5°	20	1.205
	5° - 8°	20	1.264
Nudo de Los Pastos Meseta de Popayán	1° - 2°	20	1.524
Amazonía - Orinoquía	< 3°	20	1.211
	3° - 5°	20	1.271
	>5°	20	1.267
Cuenca Cauca	2° - 5°	20	1.541
	5° - 7°	20	1.538
Cuenca Magdalena	3° - 4°	20	1.567
	4° - 7°	20	1.551
Región Cundinamarca/Boyacá	3° - 7°	20	1.533
Región Atlántica	> 7°	20	1.404

Tabla 2.

Altitudes a partir de las cuales es más vulnerable el cultivo de café a reducir el número de botones florales en escenarios de amenaza climática de La Niña, calculado a partir del trabajo de Chaves y Jaramillo (1998).

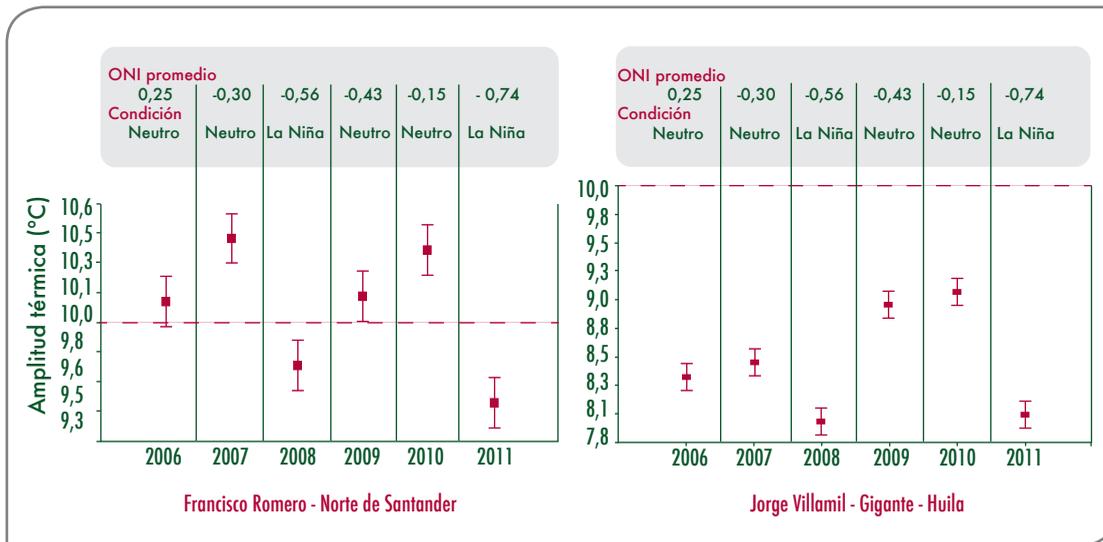


Figura 20.

Estación climática Francisco Romero en Norte de Santander, ubicado a 903 m.s.n.m, y estación Jorge Villamil en el Huila, a 1.420 m.s.n.m.

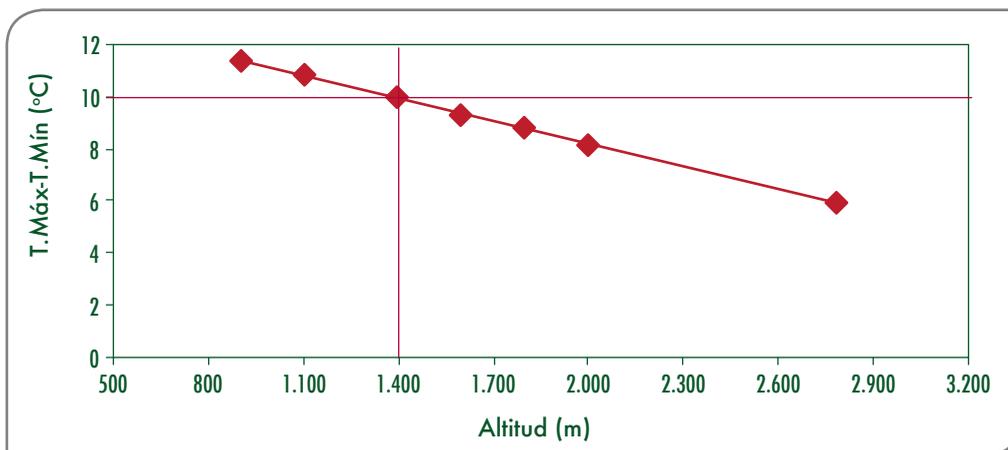


Figura 21.

Comportamiento de la amplitud térmica con la altitud (Adaptado de Jaramillo, 2005).

en escenarios de La Niña, como se muestra en la Figura 20 donde la zona influencia de la estación Francisco Romero en Santander, ubicada a 903 m de altitud, en condiciones neutras la amplitud térmica es superior a 10°C, mientras que la zona de influencia de la estación Jorge Villamil en el Huila, ubicada a 1.420 m de altitud, aun en escenarios neutrales la amplitud térmica es inferior a 10°C, y cuando hay condiciones de La Niña, se reduce aún más la amplitud y, por ende, los estímulos para la floración.

Ejemplo 5. Vulnerabilidad al viento

El viento en sistemas de producción es un elemento del clima que puede generar dos tipos de problemas: Erosión eólica e inducción de estrés fisiológico.

El viento no es realmente una amenaza generalizada de la Zona Cafetera Colombiana, aunque son pocos los estudios que lo indican, aun así es un problema observado en algunas regiones puntuales del país, especialmente zonas altas que se ubican en laderas expuestas a grandes valles, y en especial en los “filos” de las montañas en donde confluyen masas de aire frío y caliente, generando gran inestabilidad atmosférica e incrementando la velocidad del viento, como por ejemplo, algunas zonas altas de la cordillera Occidental, vertiente oriental, expuestas al valle del río Cauca, y algunas zonas de la cordillera Central, vertiente oriental, expuestas al valle del río Magdalena, entre otras.

Del primer problema, erosión eólica, no hay evidencias ni reportes en la zona cafetera, del segundo, inducción de estrés fisiológico, hay reportes experimentales en



Figura 22.

Cambios fenológicos en plantas de café sometidas a condiciones de viento frío y de alta velocidad.

Brasil (DaMatta *et al.*, 2007) y observaciones de campo en Colombia. Altas velocidades del viento aumentan la demanda evaporativa de la atmósfera y secan más rápido la masa de aire circundante al cultivo, dicho aumento en las tasas de evapotranspiración genera un tipo de estrés fisiológico en las plantas que no les permite mantener el intercambio gaseoso, limitando la transpiración del cultivo, cuando es un proceso permanente o muy frecuente, se producen alteraciones morfológicas en las plantas como la reducción en el área foliar y el alargamiento de las hojas (Figura 22).

De acuerdo con DaMatta *et al.* (2007), en las plantas de café expuestas a fuertes vientos y procesos advectivos (Ingresos adicionales de energía al sistema por aire caliente), el estrés por viento además de reducir el área foliar, puede disminuir la longitud de los entrenudos en ramas ortotrópicas (Las que crecen en altura) y plagiotrópicas (Las que crecen lateralmente), y en cafetales productivos pueden alcanzar daños severos en flores y frutos. En café no hay evidencias experimentales del efecto del viento sobre el café pero en Brasil, Caramori *et al.* (1986), sometieron plantas de café arábigo a vientos artificiales con velocidades de 2,0 y 3,0 m.s⁻¹, reportando que a estas velocidades, que son relativamente bajas y comunes en algunas zonas de Colombia, hubo reducción de la altura de las plantas y del área foliar.

Ejemplo 6. Vulnerabilidad al granizo

Los daños por granizo son de tipo mecánico como ruptura de la lámina foliar, desgarramiento de la cáscara de los frutos o epicarpio, caída de las flores en estado de comino o pre-antesis, caída de frutos de todas las edades y descortezamiento del tallo.

El granizo al igual que el viento es una amenaza puntual y específica de algunas zonas del país, pero han sido reportados daños con frecuencia en la zona cafetera a través del tiempo (Valencia y Arcila, 1976; Arcila y Leguizamón, 1988, Arcila y Jaramillo, 2010). Los eventos de granizo de acuerdo con Arcila y Jaramillo (2010) son más frecuentes en condiciones de La Niña que de El Niño. Las zonas cafeteras más vulnerables a las granizadas son aquellas expuestas a grandes valles, como La Meseta de Popayán (Cauca) expuesta al valle del río Patía, y aquellas expuestas a los valles del río Cauca y Magdalena (Arcila y Jaramillo, 2010).

Arcila y Jaramillo (2010) desarrollaron una escala para evaluar el nivel de daño por granizo en café (Figura 23), en sus diferentes órganos, en función de la edad del cultivo (Tabla 3), partiendo de la evaluación propuesta por los autores, se modifica totalizando la evolución de nivel de daño, la cual permite observar que los cafetales de 1 año y aquellos mayores de 5 años son



Figura 23.

Daños por granizo en café. **a.** Daño en las hojas “rompimiento”; **b.** Daño en frutos “rompimiento del mesocarpio de los frutos”.

Tipo de daño	Nivel de daño según la edad del cafetal				
	1 año	2 años	3 años	4 años	>5 años
Despuntos de tallo y ramas	4,5	4,5	3,5	3,0	2,0
Lesiones de tallo y ramas	3,0	4,0	3,0	3,0	2,0
Ruptura foliar	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0
Defoliación	4,0	4,0	4,0	3,0	2,0
Desprendimiento de frutos	0	4,5	4,0	3,5	2,5
Lesiones en frutos	0	4	4,0	3,0	2,0
Total	15,5	25	22,5	18,5	13,5
Vulnerabilidad	Baja	Alta	Alta	Alta	Baja

Tabla 3.

Definición de la vulnerabilidad del cultivo de café a los daños por granizo en función de la edad (Adaptado de Arcila y Jaramillo, 2010). La escala de valoración del daño oscila entre 0 y 5.

menos vulnerables al daño por granizo que los cafetales entre los 2 y 4 años, que se encuentran en su máxima expresión productiva y tienen mayor desarrollo foliar. En los cafetales menores a 1 año la vulnerabilidad es baja porque no han desarrollado estructuras reproductivas.

Es importante precisar la respuesta a una pregunta que integra dos componentes de la ecuación del riesgo, la amenaza y la vulnerabilidad:

Preguntas importantes	
Pregunta	Respuesta
¿El riesgo agroclimático se puede predecir o estimar con anterioridad?	Sí

Cuantificación y espacialización del riesgo agroclimático (Primera aproximación)

Para cuantificar y espacializar el riesgo es necesario integrar conceptos de suelos, sistema de producción, información climática y herramientas de información geográfica en un área determinada, para establecer un mapa de áreas potencialmente en riesgo. A continuación se integran dos componentes de la ecuación del riesgo, **la amenaza y la vulnerabilidad** para mostrar en un departamento cafetero de Colombia, como el Quindío, cómo es el riesgo agroclimático al déficit y al exceso hídrico.

Ecuación 1

$$\text{Riesgo Agroclimático} = \frac{\text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}}{\text{Capacidad de adaptación}}$$

En la Figura 24 se observa que las áreas con riesgo potencialmente alto de reducir el número de botones florales por exceso hídrico, en los eventos de La Niña de los años 2008, 2009 y 2010 fue variable, es así como durante el primer semestre de 2008 el área potencialmente afectada fue del 52%, y el ONI promedio para ese período fue de $-1,2^{\circ}\text{C}$, indicando una condición de La Niña muy fuerte (ONI $<-0,5^{\circ}\text{C}$ indica condición de La Niña), y el área con riesgo potencialmente alto para el primer semestre de 2009 y segundo semestre de 2010 disminuyó al 40%, explicable porque el nivel de amenaza disminuye con un ONI promedio de $-0,5^{\circ}\text{C}$ y $-1,1^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

Tendencia similar se observó al analizar el comportamiento de las áreas potencialmente afectadas por El Niño, en donde para el segundo semestre del año 2009, el área con riesgo potencial fue del 64% con un ONI promedio de $+0,7^{\circ}\text{C}$ (ONI $>+0,5^{\circ}\text{C}$ indica condición de El Niño) y el área potencialmente afectada ascendió al 85% en el primer semestre de 2010, con un ONI de $+1,7^{\circ}\text{C}$ (Figura 25), en este caso el riesgo al déficit es sobre la probabilidad de tener por lo menos 5% de daño en frutos por falta de agua, que se considera un daño bajo.

Capacidad de adaptación y reducción de la vulnerabilidad

Para completar el proceso de comprensión del riesgo agroclimático, es necesario responder una última pregunta esencial:

Preguntas importantes	
Pregunta	Respuesta
¿El riesgo agroclimático se puede reducir?	Sí

Como se planteó en la Ecuación 1, **el riesgo agroclimático se reduce aumentando la capacidad de adaptación y disminuyendo la vulnerabilidad.**

De acuerdo con Singh *et al.* (2002), hay dos estrategias posibles para disminuir el impacto de la variabilidad

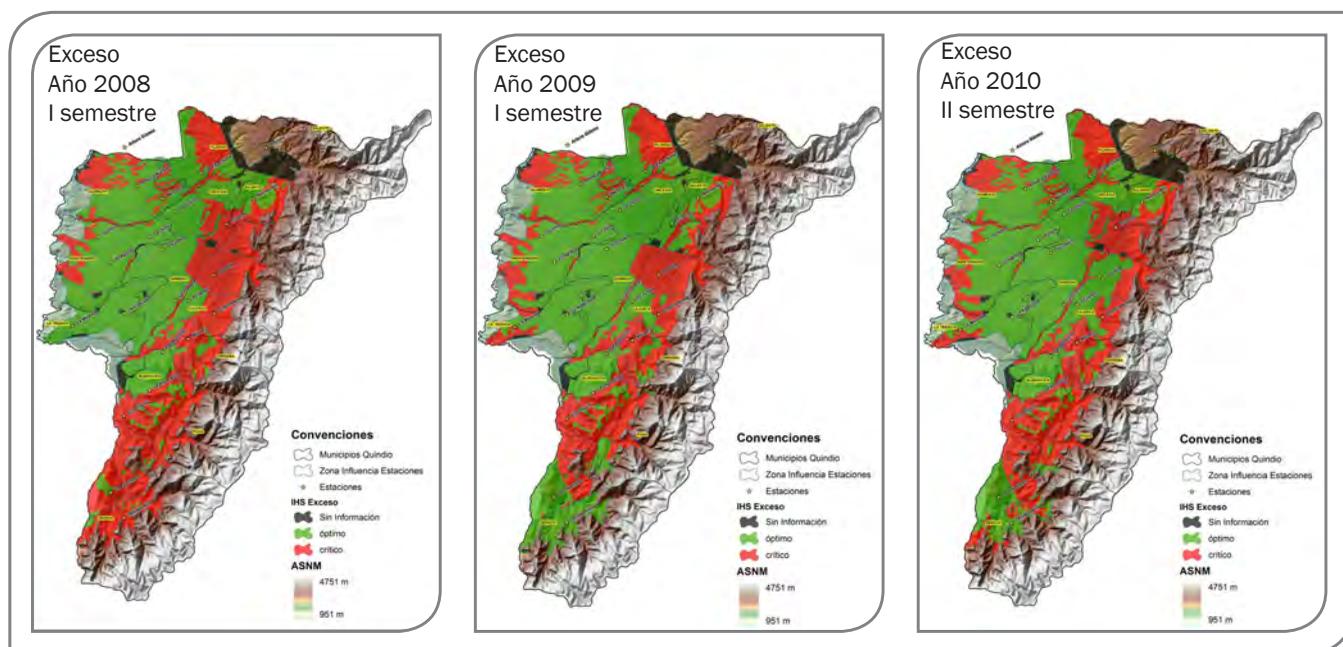


Figura 24.

Áreas con riesgo potencialmente alto de verse afectado el rendimiento en el cultivo del café por el exceso hídrico, durante los eventos de La Niña de 2008 a 2010. Caso de estudio departamento del Quindío (Ramírez *et al.*, 2012c).

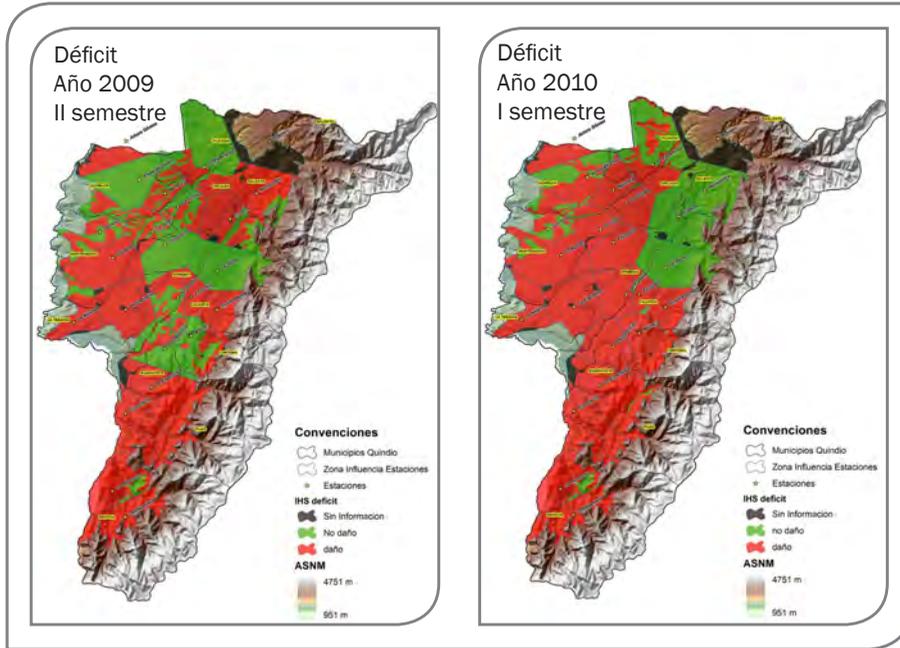


Figura 25.

Áreas con riesgo potencialmente alto de verse afectado el rendimiento en el cultivo del café por el déficit hídrico, durante los eventos de El Niño de 2009 a 2010 (Ramírez et al., 2012c).

climática en los sistemas de producción agrícola:
1. Reducir el riesgo controlando los factores limitantes;
2. Ajustar las prácticas de manejo del sistema de producción. Por ejemplo, si uno de los factores limitantes es el déficit hídrico, entonces el factor limitante se controla con un sistema de riego, pero esto no siempre es una opción viable en los sistemas de producción de café en Colombia.

Por otra parte, el sistema de producción de café es **vulnerable** a muchos factores y elementos del clima que no siempre van a permitir ser controlados, por lo tanto, en sistemas de producción de café es importante ajustar las prácticas de manejo del sistema de producción.

En la Tabla 4 se presenta una serie de estrategias que permitirán **incrementar la capacidad de adaptación** y **reducir la vulnerabilidad**, basadas en las estrategias de ajuste al sistema de producción. Ahora bien, el ajuste al sistema de producción dependerá de varios factores a saber: Grado de la amenaza, niveles de vulnerabilidad, relación beneficio/costo de la(s) nueva(s) estrategia(s) o ajuste(s).

Es muy importante seguir avanzando en una estrategia escalonada en donde:

- Se logre desarrollar, consolidar y espacializar una **matriz de riesgo agroclimático**.
- Se evalúen **estrategias de adaptación** ya investigadas y se continúe investigando en otras posibles.

- Las estrategias de adaptación vayan acompañadas de un **estudio de relación beneficio/costo**, porque en algunos casos resulta ser más costoso el ajuste que el daño generado por la amenaza.

Mejorar la **capacidad de adaptación** no solamente es un problema de investigación y extensión, es un problema de todos los actores involucrados en el sistema de producción. Es importante que:

- Todos los actores involucrados entiendan mejor el riesgo.
- Se investigue más en estrategias de adaptación.
- Se cuente con información precisa, oportuna, confiable y regionalizada, información no solamente son datos meteorológicos o estadísticas o reportes, son datos convertidos en información relacionada con el sistema de producción que permitan tomar una decisión para reducir el riesgo.
- Se realice capacitación permanente.
- Exista interlocución entre los actores (Investigadores - extensionistas - caficultores - entidades de apoyo).
- Se generen espacios de retroalimentación. La retroalimentación permite que la relación entre los actores no sea de una sola vía, sino que sea en diferentes vías o sea una relación no finita que permita involucrar cada vez más actores y lograr reducir realmente el riesgo.

Tabla 4.

Estrategias de adaptación que permiten reducir el riesgo agroclimático en el cultivo del café.

Fuente de vulnerabilidad	Estrategias de adaptación	Resultados de investigación
La primera recomendación para disminuir el riesgo es conocerlo		
Déficit hídrico	Si el déficit hídrico es mayor de 3 meses consecutivos, es necesario establecer sistemas agroforestales permanentes, de acuerdo a las condiciones de brillo solar de la zona.	Sí
	Si el déficit hídrico es menor de 3 meses consecutivos secos es recomendable manejar sistemas agroforestales transitorios, especialmente en el establecimiento.	Parcialmente
	Si la zona tiene riesgo alto en condiciones de El Niño al déficit hídrico, adelantar las siembras y emplear en siembras nuevas sistemas agroforestales transitorios.	Sí
	En almácigos emplear micorrizas, que incrementan la cantidad y profundidad de raíces, permitiéndole a las raíces mayor superficie específica para buscar agua en el suelo.	Parcialmente
	No fertilizar en épocas secas, porque se incrementan las pérdidas de N por volatilización.	Sí
	Adelantar, si es del caso, las fertilizaciones para preparar mejor el cultivo al déficit hídrico.	Parcialmente
	En zonas con riesgo alto al déficit hídrico emplear sistemas agroforestales, que tengan un buen aporte de hojarasca y regular la densidad de sombra, para reducir la competencia por agua.	Sí
	Llevar registros de precipitación para conocer en qué momento se alcanzan condiciones críticas y articular las decisiones agronómicas a este registro.	Sí
Exceso hídrico	Manejar coberturas nobles.	Sí
	Sembrar abonos verdes, que permitan disminuir la erosión del suelo, aumentar la fijación de N y reducir la pérdida de nutrientes dentro del suelo.	Parcialmente
	En almácigos, emplear micorrizas que incrementan la cantidad y profundidad de raíces, permitiéndole a la planta mayor superficie específica para buscar nutrientes deficitarios por el exceso y lograr mayor desarrollo foliar para compensar la disminución en el brillo solar.	Sí
	Usar cultivos intercalados en siembras nuevas, que permiten mantener el suelo cubierto mayor tiempo, y reducir la erosión, las pérdidas de nutrientes y compensar los ingresos.	Sí
	Fraccionar la fertilización, especialmente en suelos muy vulnerables a las pérdidas por percolación y suelos de alta pendiente en donde las pérdidas de escorrentía sean altas.	Parcialmente
	Fraccionar la fertilización para evitar las pérdidas de fertilizante por percolación y escorrentía.	Parcialmente
	Evaluar la necesidad de refuerzo con enmiendas o encalado, ya que por exceso hídrico se incrementa la pérdida de bases intercambiables en el suelo y la acidez.	Sí
	En germinadores y almácigos emplear <i>Trichoderma</i> spp, para reducir la presencia de hongos fitopatógenos comunes en condiciones de exceso de lluvia. Al momento de la renovación por zoca aplicar el hongo para reducir la incidencia de llagas.	Sí
Planear la renovación de cafetales y disponer del suficiente material de almácigo para recuperar sitios perdidos. Si se manejan densidades bajas, la renovación es una excelente oportunidad para ajustar y aumentar el número de tallos productivos por hectárea y compensar la reducción de la producción.	Sí	

Continúa...

...continuación

Fuente de vulnerabilidad	Estrategias de adaptación	Resultados de investigación
Exceso hídrico	Si el exceso hídrico viene acompañado de altas temperaturas y mayor frecuencia de lluvias nocturnas, manejar arreglos espaciales en el cultivo, que permitan mayor distancia entre calles, con el objetivo de reducir el tiempo de permanencia de agua en las hojas, el cual es favorable para el desarrollo de enfermedades del cultivo como la roya, el mal rosado y la gotera.	Parcialmente
	Si el exceso hídrico viene acompañado de altas temperaturas sembrar variedades resistentes a la roya como la Variedad Castillo®.	Sí
	Llevar registros de precipitación para conocer en qué momento se alcanzan condiciones críticas y articular las decisiones agronómicas a este registro.	Sí
Altas temperaturas	Manejar sistemas agroforestales permanentes o transitorios.	Sí
	Manejar densidades de siembra medias ya que el desarrollo foliar es más acelerado y se cierran más rápido las calles.	Parcialmente
	Manejar arreglos espaciales que permitan una mayor distancia entre calles para controlar mejor la calidad de la recolección y el manejo de la broca.	Parcialmente
Bajas temperaturas	Incrementar la densidad de siembra, ya que las tasas de desarrollo son más lentas y se deben compensar con mayor cantidad de plantas para que logren el máximo desarrollo foliar en menor tiempo.	Parcialmente
	Emplear barreras de árboles alrededor de los lotes como barreras rompevientos, para disminuir la entrada de aire frío.	Parcialmente
	En siembras nuevas intercalar con maíz.	Sí
Alto brillo solar	Manejar sistemas agroforestales.	Sí
Bajo brillo solar	Incrementar la densidad de siembra.	Parcialmente
	Regular sombrío.	Sí
	Fertilizar con la cantidad y frecuencia recomendadas.	Parcialmente
Altas velocidades del viento	Establecer barreras rompevientos.	Parcialmente
	En el establecimiento de cafetales, establecer cultivos intercalados que en el corto tiempo alcancen una altura superior a la del café, como maíz o sombríos transitorios de rápido crecimiento.	Parcialmente
Granizo	Evaluar la amenaza de la zona al granizo.	Sí
	No suspender las prácticas agronómicas y de manejo del cultivo.	Sí
	Seis meses después de la granizada hacer selección de brotes en caso de ser necesario.	Sí
Erosión y movimientos en masa	Conocer la vulnerabilidad y el riesgo del suelo a la erosión y el movimiento en masa.	Sí
	Establecer un sistema de manejo integrado de arvenses.	Sí
	Establecer sistemas agroforestales con sombrío regulado, que permita mantener un nivel productivo del café.	Sí
	Establecer cultivos intercalados en siembras nuevas de café.	Sí
	Barreras que disminuyan la longitud de la pendiente del terreno.	Sí
	Hacer un manejo racional de herbicidas.	Sí

Recomendaciones prácticas

- Esté atento de las noticias sobre qué condiciones de variabilidad climática se están presentando en el momento y cuáles son las proyecciones para los próximos meses. Si está enterado de la condición actual y las proyecciones podrá poner en marcha las estrategias de adaptación que permiten reducir el **riesgo agroclimático** en el cultivo del café y los efectos de la variabilidad climática sobre su sistema de producción.
- Es muy importante que como caficultor conozca el grado de **amenaza** que tiene frente a los fenómenos de El Niño y La Niña, para lo cual puede consultar con el Servicio de Extensión o Cenicafé.
- Si usted está ubicado en zonas por encima de los 1.500 metros de altitud es más **vulnerable** a los eventos de La Niña, debido a que estos eventos generan reducción en la temperatura media del aire, el brillo solar y en algunas zonas aumento de la lluvia y el exceso hídrico, por lo tanto, debe implementar medidas que le permitan reducir la vulnerabilidad por bajas temperaturas, brillo solar y exceso hídrico e incrementar las prácticas de conservación de suelos y taludes, al igual que el monitoreo fitosanitario del cultivo.
- Si usted está ubicado en zonas por debajo de los 1.300 metros de altitud, es más **vulnerable** a los eventos de El Niño, por lo tanto, va a tener mayor probabilidad de daño en frutos por déficit hídrico y reducción del crecimiento de la planta y pérdida de siembras nuevas, y mayor presencia de broca, entre otras, por lo cual debe implementar medidas que le permitan reducir la vulnerabilidad por déficit hídrico y altas temperaturas. Además, es muy importante incrementar la vigilancia de los niveles de infestación de broca y programar las siembras de acuerdo a las fechas en donde se inicia la temporada de lluvias.

Recomendaciones para disminuir los efectos de un evento El Niño

(Jaramillo y Arcila, 2009a)

- En la zona cafetera de Colombia por efecto de El Niño se disminuye la cantidad de lluvia, por lo tanto, la primera acción que deben emprender los caficultores es el aprovechamiento del agua lluvia para su uso doméstico, colectando y almacenando el agua que llega a los techos de las construcciones de la finca.
- La preparación y mitigación ante la disminución de la lluvia se logra con prácticas de conservación del agua y el suelo.
- El sombrío tiene un efecto notorio en la conservación del agua, especialmente en los períodos muy largos de falta de lluvia y en aquellas regiones de lluvia anual inferior a los 1.500 mm, con alta evaporación y con suelos de baja retención de humedad. Ante la recurrencia del fenómeno puede pensarse a mediano y largo plazo en el establecimiento de algún tipo de sombrío para estas regiones.
- No efectúe siembras de café durante el evento de El Niño. En los germinadores y almácigos planificados para sembrar a comienzos de año se debe utilizar sombrío para disminuir la radiación solar, y si es necesario aplicar riego. Los cafetos del almácigo que se llevarán para la siembra no deben tener más de 6 meses de edad, basado en las épocas de siembra dadas para las diferentes regiones del país (Ver capítulo Factores climáticos que intervienen en la producción de café en Colombia)
- Debido a que las arvenses consumen gran cantidad de agua del suelo, éstas se deben mantener controladas en los cafetales, especialmente en el plato del árbol.
- Para los cafetos recién sembrados y con el fin de conservar la humedad en el suelo, se recomienda la aplicación en el plato del árbol de coberturas provenientes de las desyerbas, podas o de otros residuos.
- Se pueden adelantar las labores de zoqueo y aprovechar el material de ramas cortadas para utilizarlo como cobertura del suelo, esta práctica ayuda a conservar la humedad en el suelo.
- La fertilización debe realizarse cuando se generalicen las lluvias esperadas en la región. Consulte el Avance Técnico de Cenicafé No. 229.
- Mientras persista el evento de El Niño no se recomienda establecer cultivos intercalados con el café, como el maíz, frijol y otros.

- Es necesario revisar periódicamente los cafetales para la evaluación de la incidencia de broca (*Hypothenemus hampei*), roya (*Hemileia vastatrix*), minador de la hoja (*Leucoptera coffeellum*) y araña roja (*Oligonychus yotheri*). Con base en los niveles de daño económico el caficultor, en compañía del Extensionista de la Federación, debe programar el manejo integrado para el control del insecto plaga o la enfermedad.
- En el caso de la broca del café, es necesario estar atento con los niveles de infestación en los frutos, debido a que las condiciones climáticas durante El Niño, especialmente el aumento de la temperatura, le son favorables.
- Se debe racionalizar y disminuir el consumo de agua durante el proceso de beneficio del café. Además, es necesario reforzar las medidas de control de las pasillas y granos flotantes para preservar la calidad del grano.
- El ambiente seco durante El Niño favorece la ocurrencia de incendios, por lo tanto, se debe evitar la acumulación de basuras y las quemadas.

Recomendaciones para disminuir los efectos de un evento La Niña

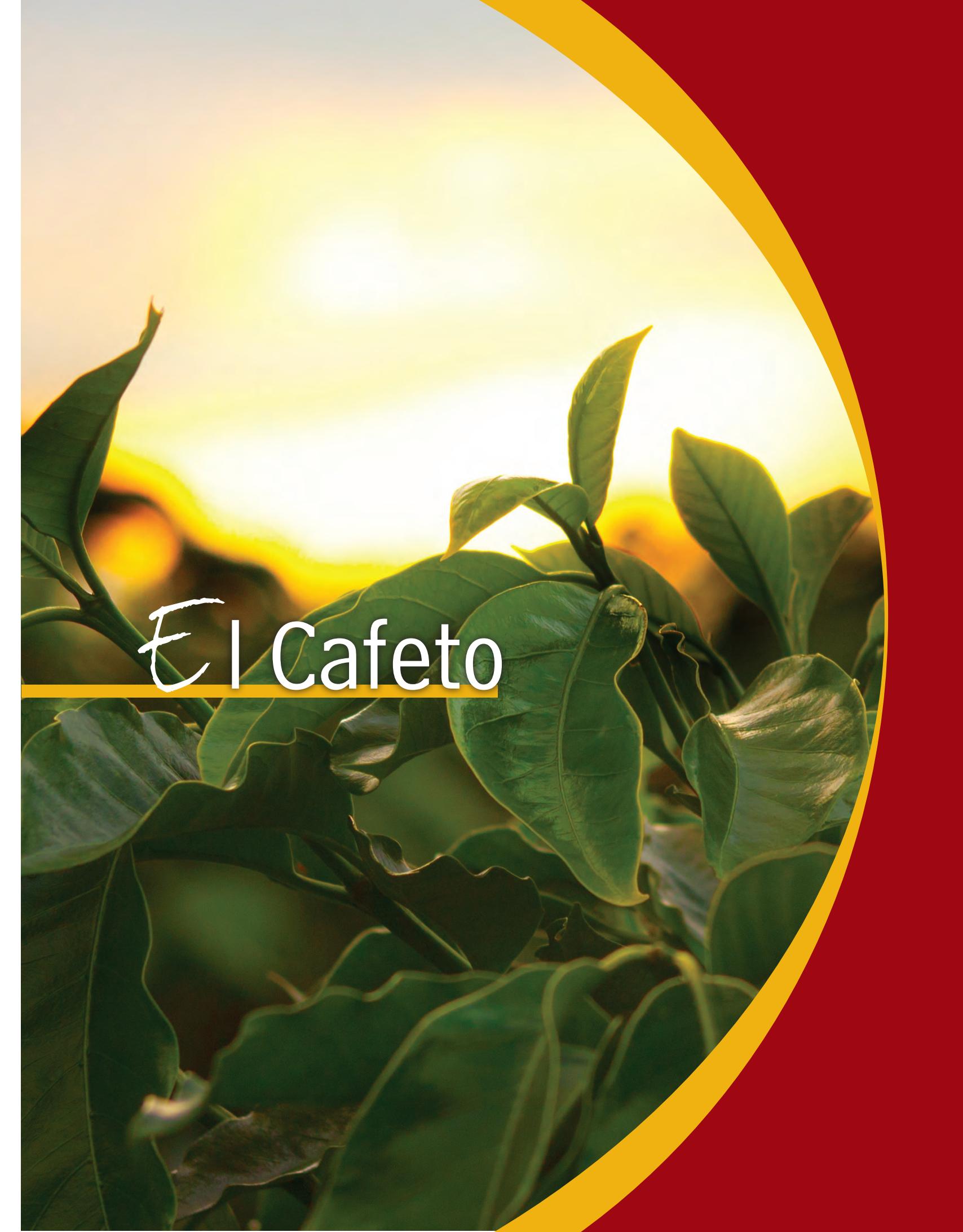
(Jaramillo y Arcila, 2009b)

- Para un seguimiento de las condiciones de clima durante La Niña, registre la lluvia diaria en la finca o consúltela en una estación climática cercana. En la región Andina una lluvia acumulada superior a 200 mm, en 20 días, o una lluvia diaria mayor a los 60 mm, empieza a desencadenar derrumbes. Solicite información y orientación en la Disciplina de Agroclimatología de Cenicafé (www.cenicafe.org) o con el Técnico del Servicio de Extensión del Comité de Cafeteros de su municipio.
- Para reducir el efecto del exceso de lluvia durante el evento de La Niña se deben tomar acciones relacionadas con la conservación del suelo y prácticas para drenar los excedentes de agua del suelo.
- Las prácticas de conservación del suelo se deben orientar basadas en las características de la lluvia de cada región y ajustarlas al tipo de suelo, de acuerdo con la susceptibilidad a la erosión.
- Como factores asociados a la erosión se tienen la deforestación, la destrucción de la cobertura vegetal de los drenajes naturales, el manejo inapropiado de los suelos, las quemadas, la inadecuada localización de las viviendas y construcciones, la ausencia de drenajes, el deterioro de las redes de acueducto o alcantarillado. Cualquiera de las causas anteriores pueden generar procesos de erosión laminar, surcos, cárcavas o remoción masal (Derrumbes). Las prácticas de conservación de suelos y de drenaje deben ser orientadas por un especialista, por lo cual debe consultar con la Disciplina de Suelos de Cenicafé o con el Técnico del Servicio de Extensión de la Federación de Cafeteros.
- Habitualmente se deben revisar y limpiar las cunetas, acondicionar los desagües con disipadores de energía, evaluar los sitios de acumulación de agua, drenajes naturales y escorrentía, para prevenir la acumulación del agua y los derrumbes.
- La mejor manera de evitar los problemas de exceso de humedad es determinar en forma previa los patrones de drenaje y la humedad del suelo, evitando sembrar en áreas que se encharcan después de las lluvias o con tendencia a inundarse; también es posible cambiar o mejorar las condiciones de drenaje para eliminar los riesgos de inundación o la saturación del suelo.
- Las arvenses ejercen una cobertura que protege el suelo de los impactos directos de las gotas de lluvia, disminuyendo la erosión superficial, por lo cual se deben realizar cortes altos con machete o guadaña. Nunca se debe hacer uso del azadón, debido a que se descubre el suelo y promueve la erosión.
- Cuando el cafetal está bajo sombrío, éste se debe regular para evitar el exceso de humedad, que favorece el incremento de enfermedades como el mal rosado, la roya del café y la gotera, entre otras.
- Durante un evento La Niña, debido a las mayores cantidades de agua sobre la superficie del suelo (Escorrentía) y a través del perfil del suelo (Percolación) las pérdidas de los fertilizantes se pueden aumentar, especialmente en suelos de textura arenosa, por lo cual es recomendable fraccionarlos.
- Es necesario que los caficultores revisen periódicamente los cafetales para determinar la incidencia de broca, roya, mal rosado, llagas radicales y otros, para evaluar los niveles de daño y la necesidad de tomar medidas preventivas. Consultar con un especialista en Cenicafé o con el Extensionista de la Federación de Cafeteros de su municipio, para orientar las medidas de control recomendadas, en caso que sean necesarias.

Literatura citada

- ARCILA P., J.; LEGUIZAMÓN, C., J. Daños por granizo en almendras de café. *Avances Técnicos Cenicafe*. No.137.2p.1988.
- ARCILA P., J.; CHAVES, C B. Desarrollo Foliar del cafeto en tres densidades de siembra. *Cenicafe* 46(1):5-20.1995.
- ARCILA P., J. Crecimiento y desarrollo de la planta de café. In: *Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná (Colombia)*. Cenicafe 2007. p 21-60.
- ARCILA P., J.; JARAMILLO, R., A. Relación entre la humedad del suelo, la floración y el desarrollo del fruto del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafe* No. 311.8p. 2003.
- ARCILA P., J.; JARAMILLO, R.A. Recuperación de cafetales afectados por granizo. *Avances Técnicos Cenicafe* No. 397.4p.2010.
- BLORE T. W. D. Further studies of water use by irrigated an unirrigated arabica coffee in Kenya. *Journal of Agricultural Science* 67: 145-154. 1966.
- CAMARGO, A. P. de; PEREIRA, A.R. Agrometeorology of the coffee crop. *World Meteorological Organization- WMO- WMO/TD N° 615*. 43 p. 1994.
- CARAMORI, P.H.; OMETTO, J.C.; NOVA, N.A.; COSTA, J.D. Efeitos do vento sobre mudas de cafeeiro Mundo Novo e Catuai Vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 21:113-116.1986.
- CHAVES C., B; JARAMILLO, R., A. Regionalización de la temperatura del aire en Colombia. *Cenicafe* 49 (3):224-230.1998.
- DAGG, M. 1971. Water requirements of coffee. *Kenya Coffee* 36(424): 129-151.
- DaMATTA, M.F.; RONCHI, P.C.; MESTRI, M.; BARROS, S.R. Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19(4):485-510. 2007.
- GUZMÁN M., O.; BALDIÓN, R., J. V. El evento cálido del Pacífico en la zona cafetera. *Cenicafe* 48(3): 141-155.1997
- GUZMÁN M., O.; BALDIÓN, R., J. V. Influencia del evento frío del Pacífico en la zona cafetera. *Cenicafe* 50(3): 222-237. 1999.
- IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Atlas climatológico de Colombia. 2005. 218 p.
- JARAMILLO R., A. Clima Andino y café en Colombia. *Cenicafe*. 2005. 192p.
- JARAMILLO R., A.; ARCILA, P., J. Épocas recomendables para la siembra de los cafetos. *Avances Técnicos Cenicafe* No.229: 1-8. 1996.
- JARAMILLO R., A.; ARCILA P., J. La variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de La Niña y su efecto en la caficultura. *Avances Técnicos Cenicafe* No. 389. 8 p. 2009a.
- JARAMILLO R., A.; ARCILA P., J. La variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de El Niño y su efecto en la caficultura. *Avances Técnicos Cenicafe* No. 390. 8 p. 2009b.
- JARAMILLO R., A.; BALDIÓN, R., J. V.; GUZMÁN, M., O. El evento cálido del Pacífico y el cultivo del café. *Cenicafe. Agronomía (Colombia)* 9(2): 13-17. 1999.
- MOSQUERA S., L.P.; RIAÑO H., N.M.; ARCILAP, J.; PONCE D., C.A. Fotosíntesis, respiración y fotorespiración en hojas de café *Coffea* sp. *Cenicafe* 50(3):215-221.1999.
- POVEDA J. G.; JARAMILLO, A.; MANTILLA, R. Influencia del evento cálido del Pacífico en la humedad del suelo y el índice normalizado de vegetación en Colombia. *Cenicafe* 51(4): 263-271. 2000.
- RAMÍREZ B., V. H.; JARAMILLO R., A. Relación entre el Índice Oceánico de El Niño (ONI) y la lluvia en la región andina central de Colombia. *Cenicafe* 60(2):162-173. 2009
- RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO, R.A.; ARCILA, P.J. Índices para evaluar el estado hídrico en los cafetales. *Cenicafe* 61(1):55-66.2010a.
- RAMÍREZ B., V.H.; ARCILA, P.J.; JARAMILLO, R.A.; RENDÓN, S. J.S.; CUESTA, G.G.; MENZA, F. H.D.; MEJÍA, M.C.G.; MONTOYA, D.F.; MEJÍA, M.J.W.; TORRES, N.J.C.; SÁNCHEZ, A.P.M.; BAUTE, B.J.E.; PEÑA, Q.A. Floración del café en Colombia y su relación con la disponibilidad hídrica, térmica y de brillo solar. *Cenicafe* 61 (2):132-158.2010b.

- RAMÍREZ B., V.H.; ARCILA, P.J.; JARAMILLO, R.A.; RENDÓN, S. J.S.; CUESTA, G.G.; MENZA, F. H.D.; MEJÍA, M.C.G.; MONTOYA, D.F.; MEJÍA, M.J.W.; TORRES, N.J.C.; SÁNCHEZ, A.P.M.; BAUTE, B.J.E.; PEÑA, Q.A. *Variabilidad climática y la floración del café en Colombia*. Avances Técnicos Cenicafé No. 407. 8p. 2011.
- RAMÍREZ B., V. H.; JARAMILLO, R. A.; PEÑA, Q.A.; VALENCIA, A. A 2012a. *El brillo solar en la zona cafetera colombiana, durante los eventos El Niño y La Niña*. Avances Técnicos Cenicafé No 421. 12p. 2012a
- RAMÍREZ B., V. H.; PEÑA, Q.A.J.; JARAMILLO, R.A.; GIRALDO, E.J.P.; SUÁREZ, A.H.E.; DUQUE, R. N. *Desarrollo metodológico para regionalizar la zona cafetera Colombiana en función del riesgo agro-climático generado por la variabilidad climática: Primera Aproximación*. Cenicafé (en edición).21p. 2012b.
- SALAZAR G., M. R.; CHAVES C., B.; RIAÑO H., N. M.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A. *Crecimiento del fruto del café Coffea arabica L. var. Colombia*. Cenicafé 45(2):41-50. 1994.
- SING., U.; WILKENS, P.W.; BAETHGEN, E.W., BONTKES, T.S. *Decision Support Tools for Improved Resources Management and Agricultural Sustainability*. p.91-117. In: *Agricultural Systems Models in Field Research and Technology Transfer*. Edited by. Ahuja, R.L.; Ma, L and Howell A. T. USDA-ARS/Lewis Publishers. 2002.
- VALENCIA, A.G.; ARCILA P., J. *Daños por granizo en cafetales*. Avances Técnicos Cenicafé No 53.2p.1976.



El Cafeto

Taxonomía y clasificación del café

Juan Carlos Herrera Pinilla; Hernando Alfonso Cortina Guerrero

La historia del café como planta y como bebida está muy ligada a la historia de los grandes imperios y mercaderes; primero, representados por los árabes, luego por los turcos en el siglo XV, y finalmente por los colonizadores europeos a partir del siglo XVIII.

La botánica nos enseña que todas las especies conocidas de café hacen parte de un gran complejo botánico, cuyas formas genéticas provienen de la zona intertropical del África y de la región de Madagascar. La gran diversidad que se observa hoy en día entre las especies, es el producto de la interacción entre estas formas genéticas y los distintos ambientes en que se desarrollaron a lo largo de su evolución.

En el presente capítulo se describen las principales características genéticas y reproductivas del café, y se presenta un panorama general de su taxonomía, una historia que aún no se ha terminado de escribir.



Origen y distribución

El café pertenece a la gran familia de las Rubiaceas, compuesta por 500 géneros y más de 6.000 especies, la mayoría de origen tropical y con amplia distribución geográfica. A esta familia pertenecen no solamente el café (género **Coffea**) sino también árboles frutales como el borojó (*Borojoa patinoi*), *Ixora* sp. y plantas medicinales como la ipecacuana (*Psychoria ipecacuanha*), o la *Cinchona* spp., de la cual se extrae la quinina (Bridson, 1988).

De todos los géneros que constituyen las Rubiaceas, el género *Coffea* es el de mayor importancia económica. De

acuerdo con diferentes estudios, este género originario del África, se considera reciente al compararlo con otros grupos taxonómicos como los relacionados con el conglomerado de los Rosides donde se encuentran especies vegetales como el arroz (*Oriza sativa*) y *Arabidopsis thaliana*. Actualmente el café se clasifica dentro del conglomerado filogenético de los Asterides, del cual hace parte entre otros, el género *Solanum* del que se separó hace aproximadamente 89 millones de años (Figura 1).

De las 103 especies descritas en el género *Coffea*, 41 son originarias del África continental, donde se distribuyen a lo largo de la zona tropical húmeda. Aproximadamente 59 se encuentran silvestres en la isla de Madagascar,

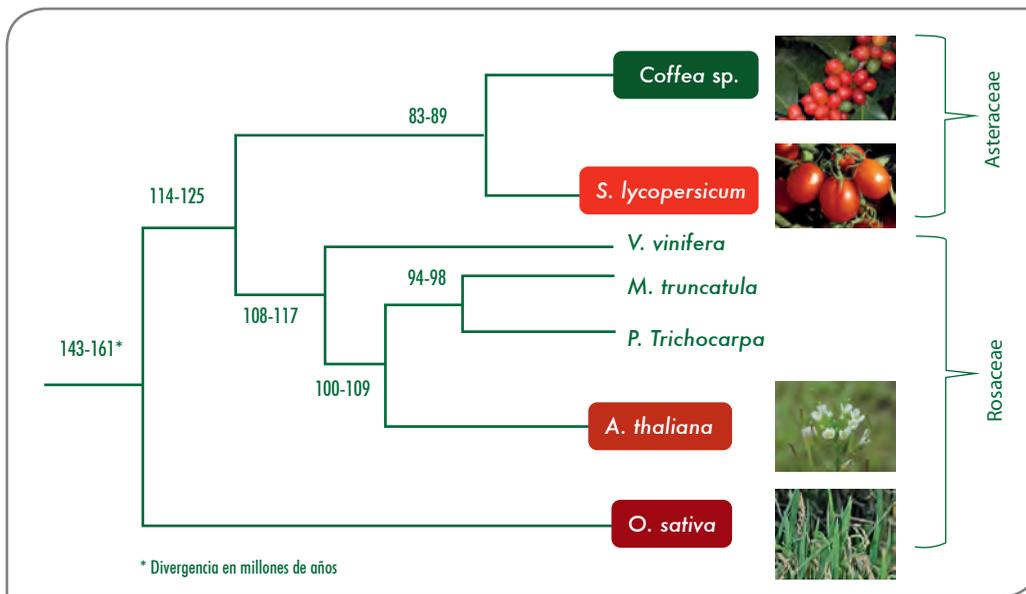
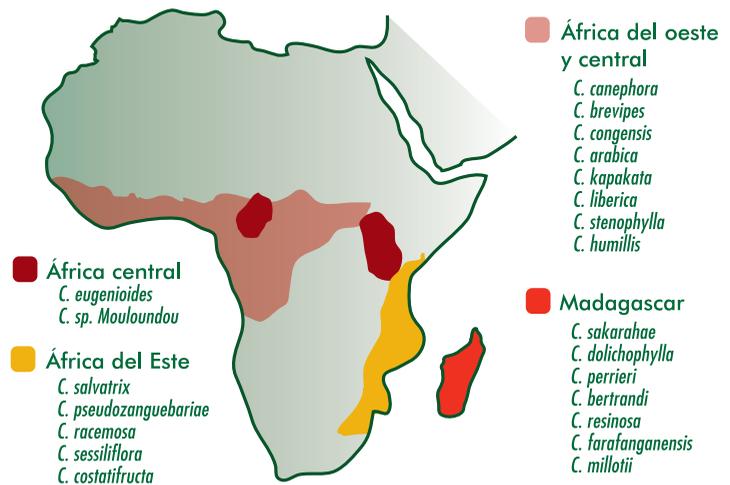


Figura 1.

Relaciones filogenéticas entre el género *Coffea* y otras especies vegetales de interés como el tomate, el arroz o la planta modelo *Arabidopsis thaliana*.

Los estudios biogeográficos y genéticos han permitido agrupar las diferentes especies de *Coffea* en cuatro grandes conglomerados geográficos. Los dos primeros grupos, África del Oeste-Centro y de África Central, están localizados en la zona de bosques intertropicales africanos. Hacen parte de estos grupos las especies comerciales más importantes: *C. arabica* y *C. canephora*, lo mismo que *C. liberica* y *C. eugenioides*. En el grupo de África del Este se localizan las especies: *C. salvatrix*, *C. racemosa* y *C. costatifructa*. El último grupo es el originario de la región de Madagascar, e incluye especies como *C. bertrandi* y *C. perrieri*, entre otras. Algunas de las especies se distinguen por tener una distribución geográfica amplia, como el caso de los *C. liberica* o *C. canephora*, mientras que otras se localizan en áreas muy reducidas, como *C. arabica* o *C. stenophylla* (Charrier y Berthaud 1985).



mientras que al menos tres, son originarias de las islas Mascarenas, particularmente de Mauricius y las Islas de la Reunión (Davis et al., 2006).

Características y estructura genética



Los cafés son plantas que tienen un porte que va desde pequeños arbustos hasta árboles de tamaño considerable. Su madera es dura y densa, sus inflorescencias son pareadas, sus flores hermafroditas, de corolas blancas o ligeramente rosadas. El estilo puede ser muy largo y sobresalir de la corola. El fruto se clasifica como una drupa indehisciente, formado por dos semillas. Cada semilla tiene una grieta muy característica, la cual se conoce como la “sutura *coffeanum*” (Davis et al., 2006).

Desde el punto de vista genético, los cafés tienen un número cromosómico básico de 11 ($x=11$), y todas las especies son diploides ($2n = 2x = 22$), con excepción de la especie cultivada *C. arabica* la cual es tetraploide ($2n = 4x = 44$) (Figura 2a). *C. arabica* se formó hace aproximadamente 50.000 años a partir de

la hibridación natural entre dos especies relacionadas con *C. eugenioides* y *C. canephora* (Lashermes et al., 1999; Cenci et al., 2012). Su forma de reproducción es preferentemente autógama, al igual que las especies silvestres *C. heterocalyx*, *C. charrierii* y *C. anthonyi*; mientras que las demás especies del género son preferentemente alógamas o de polinización cruzada (Bridson 1988; Davis et al., 2006; Stoffelen et al., 2008). Esta característica se traduce, entre otras cosas, en una amplia diversidad morfológica que se refleja en multitud de formas, colores y texturas en sus frutos, hojas y semillas (Figura 2b).

En la Figura 3 se muestra la ubicación actual de las principales Colecciones de Café (Bancos de germoplasma), que guardan la mayor parte de la riqueza genética conocida de las principales especies de café cultivadas hoy en el mundo.

Aspectos taxonómicos

A fines del siglo XIX se descubrieron en los bosques tropicales de África numerosas especies del género *Coffea*. Chevalier (1947), basado en sus características morfológicas y su distribución geográfica las organizó en cuatro secciones o grupos taxonómicos: *Argocoffea*, *Paracoffea*, *Mascarocoffea* y *Eucoffea*. Esta última sección, que agrupa los verdaderos cafetos, fue a su vez, subdividida en cinco subsecciones a saber: *Pachycoffea*, *Nanocoffea*, *Melanocoffea*, *Mozambicoffea* y *Erythrocoffea*. El criterio de clasificación de estos grupos taxonómicos está dado por la presencia de caracteres como la textura de las hojas, el tamaño de las plantas, el color de los frutos y la distribución geográfica.

Como consecuencia de los avances en los métodos de clasificación, así como el descubrimiento reciente de otras especies de café en las zonas de origen, la



Figura 2.

a. Microfotografía de los cromosomas somáticos del café vistos al microscopio de luz (Aumento 1.000 x); **b.** Muestra representativa de la variabilidad en tamaños, formas y colores de las semillas de diferentes especies de café.

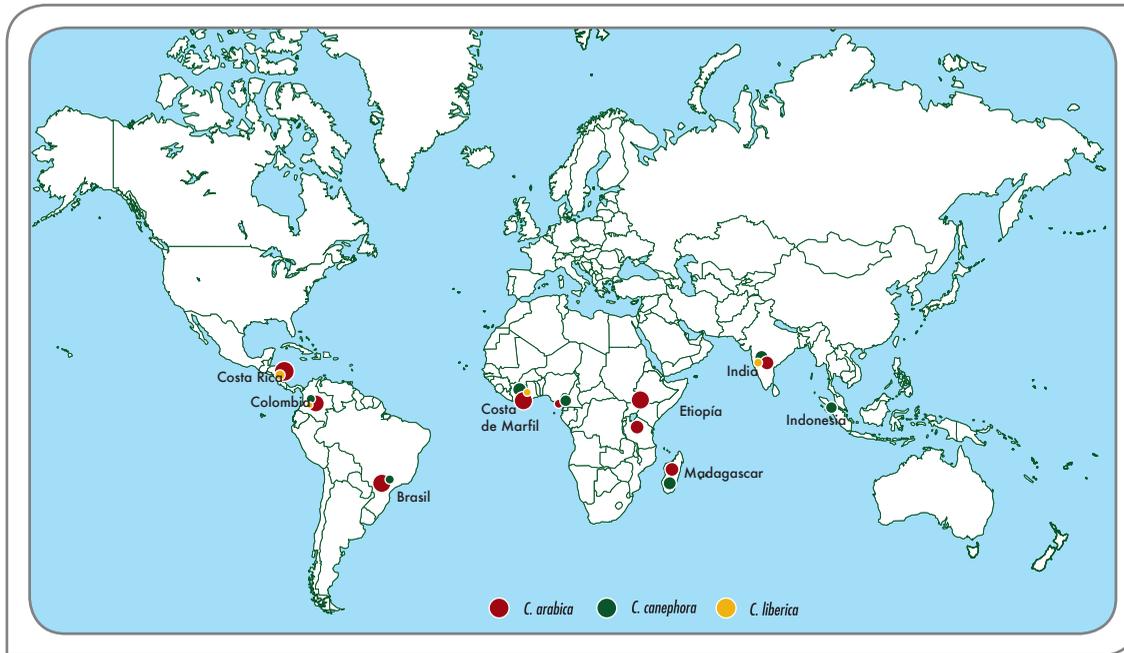


Figura 3.

Localización de los principales bancos de germoplasma de café en el mundo.

clasificación taxonómica del género ha sufrido diversas reestructuraciones (Leroy, 1980; Bridson, 1987). Actualmente se considera que la mayoría de las especies de la sección *Argocoffea* (Que agrupa arbustos o plantas trepadoras de África Occidental y Central), hacen parte del género *Argocoffeopsis*, mientras que muchas de las especies de la sección *Paracoffea* (Generalmente arbustos encontrados en India y el sureste de Asia), no se clasifican dentro del género *Coffea* sino dentro del género *Psilanthus* Hook. Finalmente, de las cuatro secciones inicialmente consideradas por Chevalier, solamente las secciones *Mascarocoffea* y *Eucoffea*, han permanecido como grupos taxonómicos relativamente estables.

De acuerdo con Leroy (1980) los cafetos se clasifican dentro de la tribu *Coffeae*, cuyas características principales son tener ovarios con dos carpelos, cada uno con un sólo óvulo, placentación axilar, endocarpo duro, una semilla cubierta por un parénquima delgado (Que da origen al pergamino), y la presencia de la sutura *coffeanum*. Para este autor, los dos géneros más relacionados son: *Coffea* y *Psilanthus* (Figura 4).

Las diferencias entre *Psilanthus* y *Coffea* están básicamente en la morfología y localización de las flores y en las características del polen. En *Coffea* generalmente la antera y el estilo emergen, el tubo de la corola es de la misma longitud que los lóbulos y el polen predominantemente tricorporado (Tres aperturas laterales), mientras que las flores son inflorescencias axilares (Bridson, 1988; Stoffelen, 1998). En *Psilanthus* por su parte, las anteras no emergen, el estilo es corto, el tubo de la corola es más largo que los lóbulos y el

polen tiene cuatro a cinco colpos o aperturas laterales. Las flores son terminales y en algunas especies axilares. Estas diferencias aunque importantes no son absolutas, haciendo que la separación o fusión de estos dos géneros continúe siendo una cuestión que necesita más investigación.

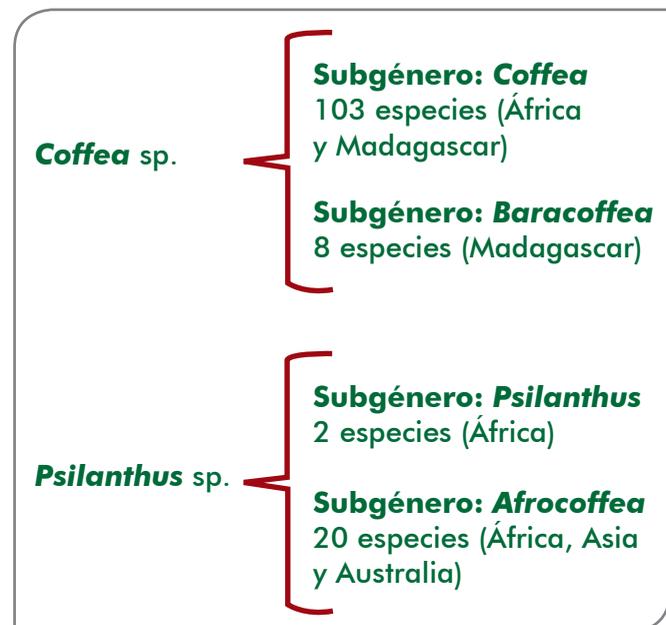


Figura 4.

Clasificación de los dos grandes géneros que agrupan todas las especies de café y sus formas taxonómicas más relacionadas, según Leroy (1980).

Literatura citada

- BRIDSON, D.M. Nomenclatural notes on *Psilanthus*, including *Coffea* sect. *Paracoffea* (Rubiaceae tribe Coffeae). *Kew Bulletin*: 42:453-460. 1987.
- BRIDSON, D., VERDCOURT, B. *Coffea*. In *Flora of Tropical East Africa - Rubiaceae (Part 2)*. ed. RM Polhill, 703-727. A.A. Balkema, Rotterdam. 1988.
- CENCI, A., COMBES, M.C., LASHERMES, P. Genome evolution in diploid and tetraploid *Coffea* species as revealed by comparative analysis of orthologous genome segments. *Plant Mol Biol* 78:135-145 2012.
- CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. Botanical classification of coffee. In *Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage*. ed. Clifford, M.N. and Wilson K.C. 13-47. Croom Helm, London. 1985.
- CHEVALIER, A. Les caféiers du globe Systématique des caféiers et faux-caféiers et faux- caféiers maladies et insect nuisibles. *Encyclopédie Biologique XXVIII*. Paris. 356. 1947.
- DAVIS, A.P.; GOVAERTS, R.; BRIDSON, D.M.; STOFFELEN, P. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Bot Jour Linnean Society* 152: 465-512. 2006.
- LASHERMES, P.; COMBES, M.C.; ROBERT, J.; TROUSLOT, P.; D'HONT, A.; ANTHONY, F.; CHARRIER, A. Molecular characterization and origin of the *Coffea arabica* L. genome. *Mol Gen Genet* 261, 259-266 1999
- LEROY, J.F. Les grandes lignées de caféiers. In *IX Colloque Scientifique International sur le Café*, 473-477. ASIC, Londres, UK. 1980.
- STOFFELEN, P. *Coffea* and *Psilanthus* in Tropical Africa: A systematic and palynological study, including a revision of the west and Central African species. PhD diss., Katholieke Universiteit Leuven, 187-209. 1998.
- STOFFELEN, P., NOIROT, M., COUTURON E, et al. A new caffeine free species from Cameroon. *Bot. J. Linn. Soc.*, 158: 67-72. 2008.

Estructura y funcionamiento de la planta de café

Claudia Patricia Flórez Ramos; Lizardo Norbey Ibarra Ruales; Luis Fernando Gómez Gil; Claudia Yoana Carmona González; Ángela Castaño Marín; Aristóteles Ortiz

La fisiología vegetal permite tener un conocimiento integrado de los procesos morfológicos, fenológicos y químicos que ocurren en las plantas, de cómo éstos se relacionan entre sí y de la forma cómo son regulados por las condiciones ambientales.

En 1950, Cenicafé creó la Disciplina de Fisiología, dando inicio a una serie de investigaciones enfocadas a determinar los principales factores fisiológicos relacionados con la producción del café en Colombia. El entendimiento de los mecanismos relacionados con la productividad permitirá, en el marco de un trabajo multidisciplinario activo, obtener plantas más eficientes en el uso de recursos como agua y nutrientes, limitantes para alcanzar dicha productividad.

Es así como el reto de los estudios fisiológicos y eco-fisiológicos se centra en aspectos que contribuyan a que la caficultura Colombiana mantenga la competitividad, sostenibilidad, rentabilidad, calidad y valor agregado de sus productos, lo cual finalmente redundará en beneficio para el caficultor.

El presente capítulo recopila investigaciones relacionadas con los aspectos fisiológicos del cafeto, haciendo énfasis en la descripción de la planta y de algunos factores que influyen sobre el crecimiento, desarrollo y producción del café.



*“Antes de la iluminación,
cortar leña, llevar agua.
Después de la iluminación,
cortar leña, llevar agua”
Proverbio Zen*

En memoria del
Doctor Jaime Arcila Pulgarín
1948 - 2013

La semilla

En las plantas la semilla tiene como objetivo perpetuar la existencia de la especie, y en el caso particular del café, también es el órgano que se comercializa.

Características y función

La semilla es la **estructura reproductiva** de la mayoría de las plantas superiores terrestres y acuáticas. Se le considera el **órgano de reserva** que cuenta con los compuestos necesarios, para que a partir de ella comience el proceso de formación de una nueva planta (Crecimiento y diferenciación). Las semillas desempeñan una función fundamental en la **renovación, persistencia y dispersión** de las especies vegetales (Ascanio, 1994).

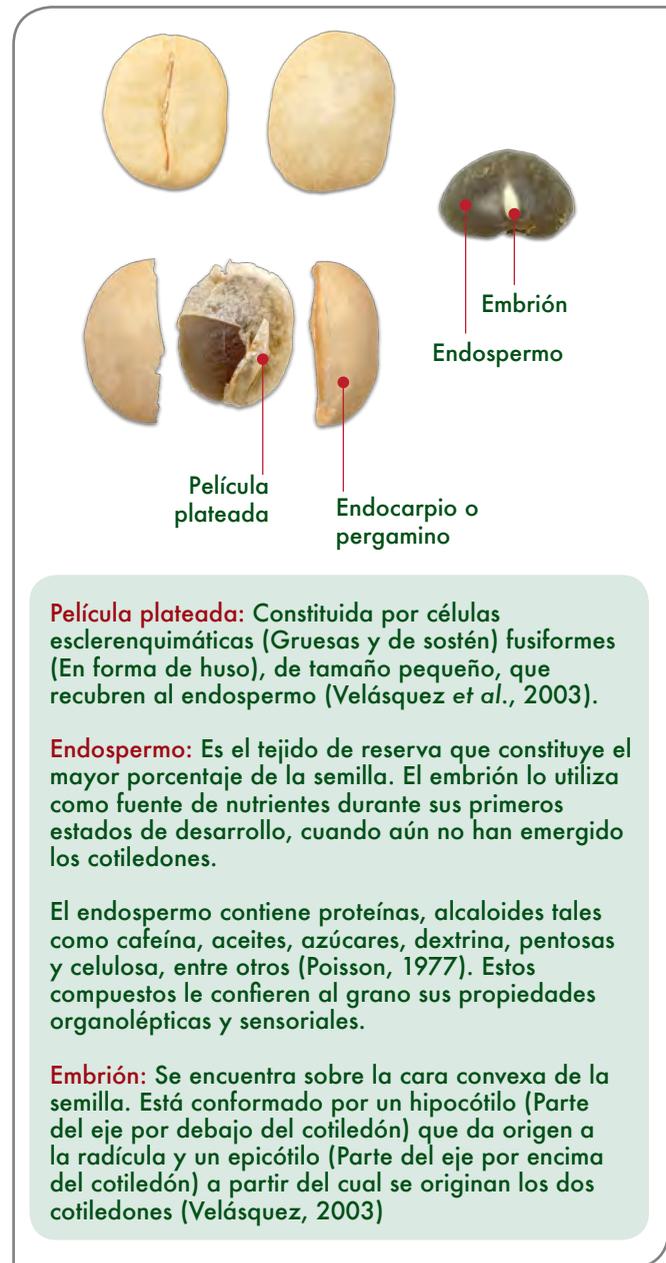
Al hablar de los mecanismos de reproducción del café, a través de los cuales la planta se multiplica sexualmente, por medio de **semilla**, o asexualmente utilizando estacas o esquejes, se observa que en la práctica dependen del tipo de polinización (Polinización cruzada o autopolinización) del material que se desee cultivar.

En Colombia, la totalidad de los cafés cultivados corresponden a la especie *C. arabica* L., caracterizada por presentar autofecundación en un 90% - 95% de los casos, lo cual permite obtener poblaciones homogéneas por reproducción sexual, siendo éste el sistema de multiplicación que más se utiliza (Nutman, 1993). Sin embargo, las demás especies de café, incluida la especie de *C. canephora* L., poseen un alto grado de polinización cruzada, razón por la cual se multiplican vegetativamente para mantener la uniformidad de sus poblaciones (Ascanio, 1994).

La formación de la **semilla** del café inicia desde el momento de la fecundación. Cuando esto sucede, se desencadenan una serie de cambios que conllevan a la formación de un fruto que normalmente contiene dos semillas (Arcila *et al.*, 1992). Un fruto, entre 200 y 220 días después de fecundación, contiene un par de semillas maduras fisiológicamente, lo cual implica que tienen la capacidad para formar una nueva planta (Franco y Alvarenga, 1981).

La semilla de café es una nuez, oblonga, plano convexa, de tamaño variable (10 - 18 mm de largo y 6,5 - 9,5 mm de ancho) (Arcila *et al.*, 2007).

En ella se pueden distinguir las siguientes partes:

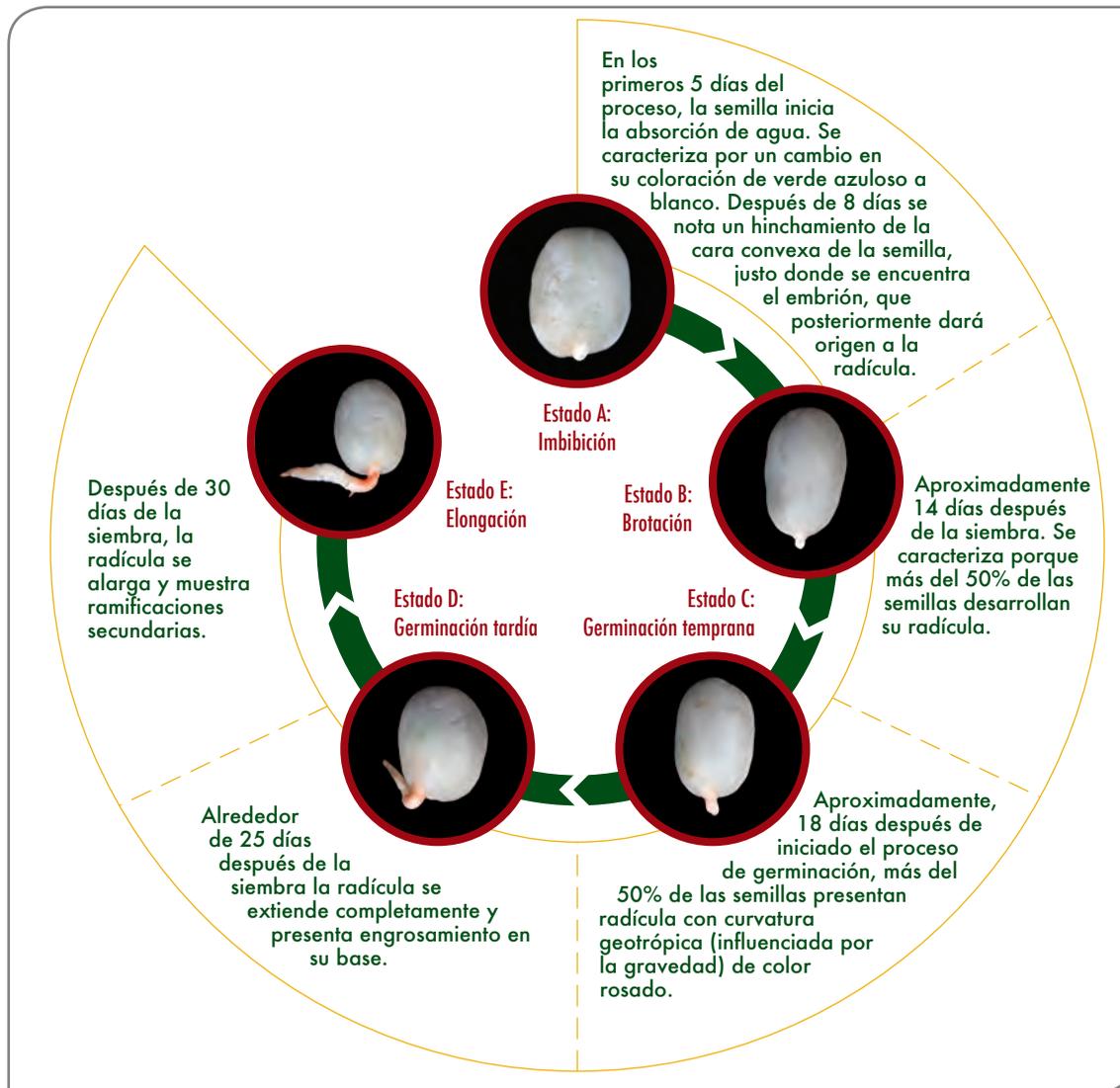


El proceso de germinación de la semilla

La germinación es el proceso por medio del cual el embrión contenido en la semilla recobra su actividad vital. Para dar inicio al proceso de germinación se requieren **condiciones adecuadas de humedad** que reactivan procesos fisiológicos al interior de la semilla. La absorción de agua depende de diferenciales de presión entre el sustrato y la semilla, lo cual genera un fuerte flujo desde afuera hacia adentro, ocasionando un aumento de volumen. Dicho proceso debe ir acompañado de **disponibilidad de oxígeno y temperatura adecuada**. Una vez la semilla está embebida incrementa la respiración,

la síntesis de enzimas y proteínas, dando inicio a la movilización de reservas hacia los tejidos que empiezan a multiplicarse y diferenciarse (Arcila et al., 2007).

En el proceso de germinación se pueden distinguir los siguientes estados:



Consideraciones prácticas

El desarrollo de la radícula durante el proceso de germinación es útil para determinar tempranamente la viabilidad y el vigor de las futuras plantas (Arcila et al., 2007). Los estados más confiables para evaluar germinación corresponden al D y E. En los demás sólo se puede apreciar el fenómeno de imbibición en la semilla, sin que esto garantice que la germinación se llevará a cabo correctamente (Arcila et al., 2007).

Plántulas en estado de chapola (60-70 días después de germinación) muestran diferencias dependientes del tamaño de la semilla de las cuales se originaron. Fisiológicamente una semilla de mayor tamaño desarrolla cotiledones más grandes, que son el primer tejido fotosintéticamente activo de la planta. Por lo tanto, las plántulas que provienen de semillas grandes presentan mayor desarrollo comparadas con aquellas provenientes de semillas pequeñas (Osorio y Castillo, 1969; Castillo, 1970; Arcila et al., 2007).

La semilla de café carece de latencia. Cuando se le retira el pergamino se puede reducir su tiempo de germinación hasta en 20 días (Valio, 1980). La ubicación del embrión facilita que sufra daños al momento del beneficio, cuando

dicho proceso se hace con maquinaria mal calibrada. Cuando éste sufre lesiones puede no germinar o producir el fenómeno de “raíz bifurcada” (Figura 1) (Velásquez et al., 2003).

Anormalidades generadas durante el proceso de formación de la semilla

El fruto normalmente contiene dos semillas, una por cada lóculo o cavidad. Ocasionalmente, se observan frutos de café con tres o más semillas a causa de la ocurrencia de ovarios triloculares o pluriloculares, con más de un óvulo por ovario y con más de una semilla por lóculo. Así mismo, pueden desarrollarse frutos con una sola semilla redondeada debido al aborto de uno de los óvulos. Producto de estas formaciones que se dan durante el proceso de fecundación, se presentan anomalías en bajas proporciones, las cuales tienden a incrementarse cuando se realizan cruces entre parentales con alta incompatibilidad genética (Cruces interespecíficos).

La forma de la **semilla del café** depende en gran medida de la ocupación de las cavidades internas en el ovario, ya que el endospermo se desarrolla una vez que los lóculos han adquirido su tamaño y forma definitiva (López, 1967).

Entre las anomalías de semillas de café se conocen:



Granos caracol. Si un óvulo no se desarrolla, el otro de los que conforman el grano, al crecer, rompe el tabique y ocupa toda la cavidad ovárica, tomando forma ovoide.



Granos triángulo. Granos que se forman en ovarios con tres o más cavidades; se debe a una aberración genética que puede transmitirse hereditariamente.



Granos monstruos. Se presentan cuando se desarrolla más de un óvulo en cada cavidad del ovario, lo que origina igual número de endospermos; éstos llenan la cavidad que ocupan dando origen a este tipo de granos (Garzón et al., 1990).

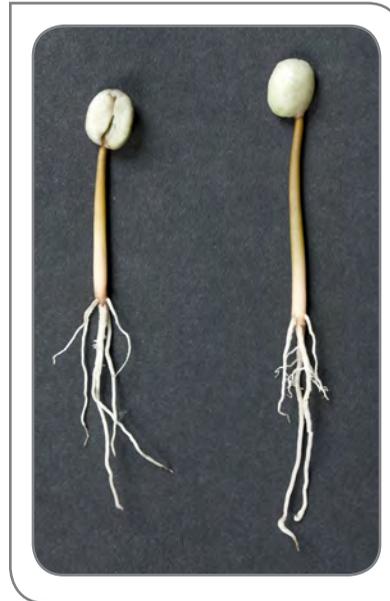


Figura 1.

Raíz bifurcada.

Consideraciones prácticas

La semilla es el insumo fundamental en el sistema de producción de café, de su buena calidad depende el éxito del cultivo. En la actualidad, los cafeteros cuentan con materiales adaptados a las condiciones de la caficultura colombiana, dentro de los que se destacan la Variedad Castillo® y sus componentes Regionales y la variedad Tabi. La Federación Nacional de Cafeteros entrega a los caficultores semilla con porcentaje de germinación superior al 90%.

La raíz: Soporte y crecimiento de la planta



La raíz es el principal órgano de asimilación de la planta. La función de la raíz está asociada con el **anclaje al suelo, la absorción de agua y sustancias minerales y la síntesis de algunos reguladores de crecimiento**, además de otros compuestos orgánicos.

El sistema radical en las plantas inicia a partir de la semilla, exactamente en el hipocótilo que está ubicado en la base del embrión. Una vez inicia el proceso de germinación, lo primero que se desarrolla es la **radícula**, que da origen a la **raíz principal**, y de ésta se desprende todo el sistema de raíces, que en su conjunto se conoce como **raíz pivotante**.

Partes de una raíz

En la raíz de una planta bien desarrollada se puede distinguir la región de conducción, la región de maduración, la región de elongación, la región meristemática y la cofia (Arcila et al., 2007) (Figura 2).

Región de conducción. Zona por donde pasan hacia el tallo, el agua y las sustancias minerales absorbidas a través de los pelos absorbentes.

Región de maduración. Se caracteriza por tener la mayor cantidad de raíces absorbentes. Las raíces laterales poseen una estructura similar a la raíz principal (Ravent y Evert, 1999).

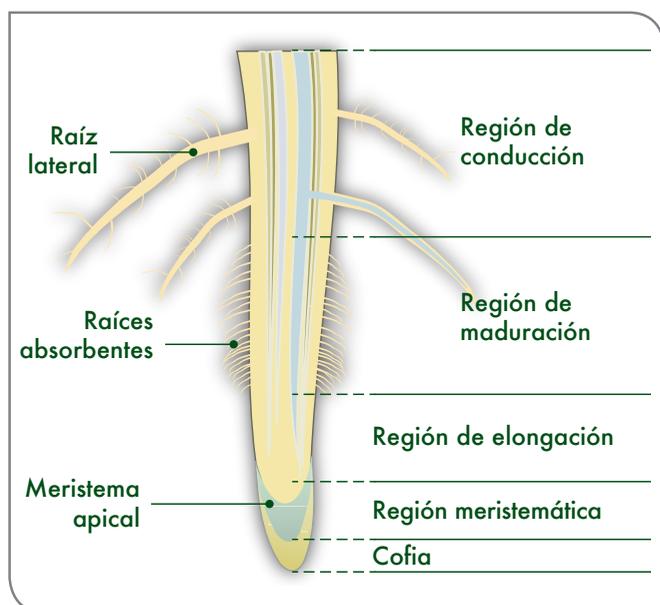


Figura 2.

Partes que conforman la raíz.

Región de elongación celular o crecimiento. Responsable del crecimiento longitudinal de la raíz. Se encuentra ubicada por encima de la región meristemática.

Región meristemática (Punto de crecimiento). Está formada por células meristemáticas caracterizadas por presentar crecimiento activo. A partir de este tejido se forma el protodermo y el procambium, que son precursores de tejidos como la epidermis y algunos tan importantes como los haces vasculares, por donde circula el agua junto con los nutrientes que absorbe la planta desde la solución del suelo.

La cofia. Es la estructura que protege el extremo distal de la raíz de posibles daños que puede sufrir en su recorrido por el suelo. En el proceso de crecimiento las células más externas de la cofia se desprenden paulatinamente para formar una capa mucilaginosa (Raven et al., 1999). La cofia es responsable de la respuesta en crecimiento, orientado por la gravedad o gravitropismo (How et al., 2004).

Sistema radical de una planta de café y condiciones que favorecen su desarrollo

Las plantas jóvenes de café desarrollan un sistema con la presencia de una **raíz principal** muy ramificada, que predomina sobre las **raíces secundarias**. En plantas adultas se describe como una **raíz pivotante central** aquella que puede alcanzar entre 50 y 60 cm de profundidad. De ésta se desprenden dos tipos de raíces, unas **axiales o profundas** que sirven para dar anclaje a la planta, y otras que crecen lateralmente, de las cuales se desprenden **raicillas** por donde se captan los nutrimentos desde la solución del suelo. Aproximadamente, el 80% de estas raicillas se confinan en los primeros 30 cm de profundidad (Nutman, 1993; Arcila et al., 2007) (Figura 3).

Las curvas de crecimiento de la planta de café muestran un comportamiento donde se mantienen las relaciones de proporción entre la parte aérea y radical. Dicha relación al inicio de las fases de crecimiento es mayor para la raíz, tendiendo a invertirse a medida que avanza el desarrollo de la planta, ya que se aumenta la parte aérea con relación a la raíz (Arcila, 1992) (Figura 4).

Cuando las condiciones del suelo no permiten un buen desarrollo, la planta manifiesta una serie de síntomas que generalmente están asociados con problemas nutricionales como amarillamiento, achaparramiento, crecimiento limitado de la parte aérea, presencia de enfermedades como mancha de hierro, defoliación (Paloteo) y, en casos extremos, la muerte de la planta (Suárez, 1977; Arcila, 1992; Arcila et al., 2007).

Consideraciones prácticas

Una planta normal debe poseer un buen sistema de raíces. Para lograrlo es importante contar con un sustrato adecuado y buena disponibilidad de nutrientes.

Las condiciones que limitan el desarrollo de las raíces se presentan desde la **etapa de germinador** por problemas en el beneficio de la semilla, exceso de humedad en el sustrato, siembras inadecuadas, uso indiscriminado de agroquímicos, tamaño de bolsas, poda excesiva o doblamiento de raíces al momento de la siembra. **En el**

campo, puede estar limitado por condiciones propias del suelo como textura y estructura, alta pedregosidad, mal drenaje, poca retención de agua y horizontes subsuperficiales cementados, que limitan su desarrollo (Arcila, 1977; Arcila et al., 2007).

La baja disponibilidad de nutrientes también restringe el crecimiento normal de la raíz, ya que la planta no cuenta con los nutrimentos necesarios para producir los fotoasimilados que normalmente se deben translocar y contribuir a la formación del sistema radical (Arcila, et al., 1992). Los valores de pH ácidos en el suelo asociados con excesos de aluminio ocasionan taponamiento de los haces vasculares, que pueden generar dificultades para la movilización del agua y los nutrientes. Otro factor limitante de origen biótico, lo constituyen las plagas como la palomilla (*Dismicoccus* spp.) y algunas especies de hormigas, así como enfermedades generalmente de tipo

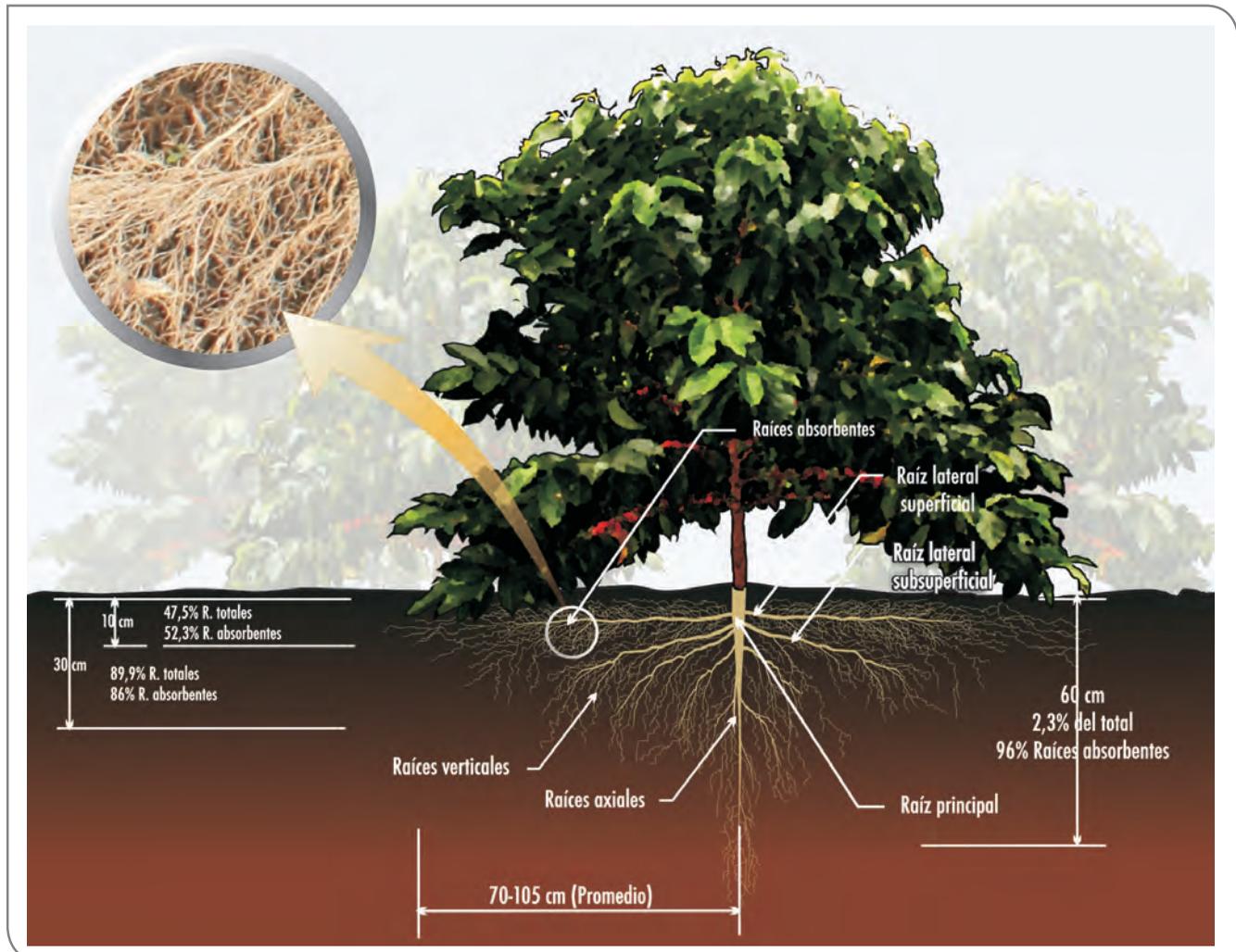


Figura 3.

Sistema radical de una planta de café (Adaptado de Suárez de Castro, 1953).



Figura 4.

Desarrollo de plantas en estado de almácigo.

fungoso como la llaga macana (*Ceratosystis fimbriata*), la llaga negra (*Rosellinia bunodes*) y la llaga estrellada (*Rosellinia pepo*) (Arcila, 1992).

El sistema radical y su influencia en el potencial productivo de la planta

Un buen sistema radical es la base para que la planta desarrolle su potencial productivo.

Al evaluar cuatro líneas componentes de la Variedad Castillo®, seleccionadas por ser contrastantes en términos de producción, se observó que consistentemente las líneas de mayor producción poseen raíces de mayor longitud, volumen y materia seca (López, 2012) (Figura 5).

Consideraciones prácticas

- El tipo de suelo (*Características físicas*), estado nutricional y disponibilidad de agua en el suelo, son algunos de los factores clave para el desarrollo y mantenimiento de las raíces del cafeto, ya que influyen directamente sobre la producción.
- La raíz permite la incorporación del agua y los nutrientes necesarios para completar el desarrollo vegetativo y reproductivo de la planta.
- El desarrollo radical de una planta es proporcional al volumen de suelo que ésta logra explorar, por ende, plantas con excelente sistema radical tienen mayor oportunidad de tomar nutrientes del suelo, comparadas con plantas que poseen sistema de raíces deficientes.

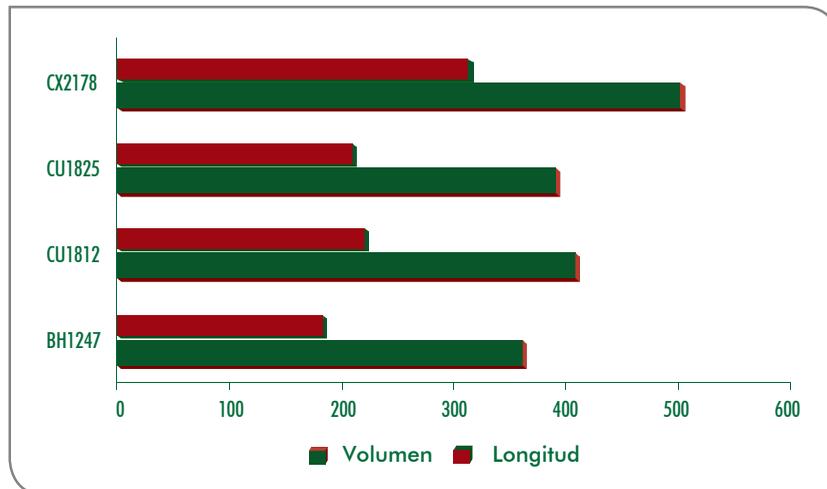


Figura 5.

Longitud total de las raíces (m) y volumen de raíz (cm³), en componentes de la Variedad Castillo® El Rosario (Adaptado de López, 2012).

El tallo, las ramas y las hojas. Arquitectura de la planta de café

La arquitectura de la planta hace referencia a la configuración espacial o disposición de todas las estructuras que conforman el café, en este caso **el tallo, las ramas y las hojas**. La arquitectura del café influye en su capacidad para la absorción y transformación de la energía proveniente del sol en biomasa (Raíces, tallo, hojas, flores y frutos).

El crecimiento del café ocurre a través del año y es regulado por factores ambientales.

Para comprender lo anterior, es necesario conocer la morfología (Forma de diversos órganos vegetales) del tallo, las ramas y la hoja.

Morfología del tallo

El árbol de café está compuesto generalmente de un solo tallo o eje central, nudos y entrenudos.

En los primeros 3 a 4 nudos de una planta joven sólo brotan hojas, de ahí en adelante, ésta comienza a emitir ramas laterales originadas a partir de yemas que se forman en las axilas superiores de las hojas. En cada axila se forman dos o más yemas. La yema inferior da origen a nuevos brotes ortotrópicos y usualmente no se desarrolla a menos que se pade el tallo principal (Arcila *et al.*, 2001) (Figura 6).



La muerte de la **yema apical** ocasionada por microorganismos patógenos o deficiencias nutricionales, entre otros factores, desencadena la activación de las **yemas inferiores**, las cuales formarán nuevos brotes que pasan a sustituirla. Los nuevos brotes crecen primero en sentido horizontal, luego se doblan y crecen verticalmente, formando una rama ortotrópica, que a su vez forma hojas y ramas laterales. Las ramas laterales no se emiten hasta que el tallo principal o sustituto, esté lo suficientemente desarrollado. En la parte inferior



Figura 6.

Crecimiento inicial de una planta de café. En el quinto nudo se observa la aparición de la primera rama lateral.

del tallo, donde las hojas se han caído por efecto de senescencia, se encuentran yemas que sólo se activan al ser interrumpido el crecimiento meristemático apical, debido a podas o doblamiento, lo cual origina la formación de chupones que llegan a sustituir el tallo principal (Wintgens *et al.*, 2009).

En cada nudo formado en el tallo se desarrollan dos axilas foliares opuestas y en cada una de las axilas se originan de cuatro a cinco yemas seriadas, las cuales se denominan laterales o axilares. La primera da origen a los brotes que crecen horizontalmente (Ramas primarias), y se forma un sólo par por nudo. La siguiente yema de la serie, origina brotes verticales o chupones, mientras que las otras yemas permanecen latentes y eventualmente pueden formar flores/frutos caulinares, es decir, que se desarrollan sobre el tallo (Arcila *et al.*, 2007).

Morfología de las ramas

Las **ramas laterales primarias** se originan de yemas en las axilas de las hojas del tallo principal. Estas ramas se alargan continuamente y se producen a medida que el eje central madura. El crecimiento de éstas y la emisión de nuevas **ramas laterales** en forma opuesta y decusada, originan una planta de forma cónica. Las ramas primarias plagiotrópicas, dan origen a otras ramas que se conocen como **secundarias y terciarias**, las que normalmente producen yemas vegetativas y eventualmente a partir de estas yemas se forman flores y frutos (Arcila *et al.*, 2007) (Figura 7).

En cada nudo se originan de ocho a diez yemas de edad desuniforme, de cada yema se forman entre cuatro y seis flores, y a este conjunto se le denomina inflorescencia o glomérulo. Las yemas que no alcanzan a diferenciarse en flores, forman ramas secundarias o terciarias cuando se dan condiciones poco favorables para la floración. La formación de estas ramas ocurre principalmente en plantas mayores de 15 meses (Arcila *et al.*, 2007).



Yemas de la rama: Laterales y apicales

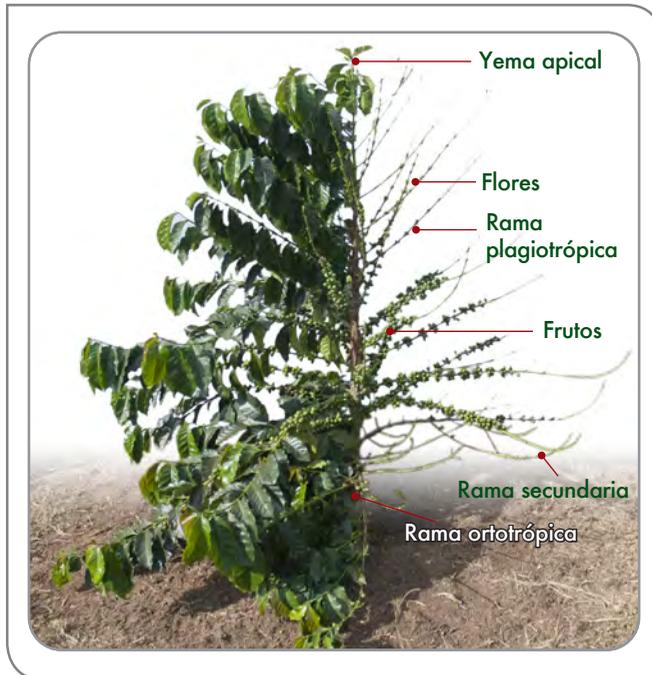


Formación de ramas secundarias

Morfología de las hojas del cafeto

Las hojas son las estructuras más importantes de las plantas, ya que a través de ellas ocurren procesos vitales para su crecimiento y sostenimiento como son **la fotosíntesis, la respiración y la transpiración**. Un desarrollo vigoroso y sano de las hojas se traduce en un buen funcionamiento de la planta.

Reconocida la importancia que tiene la hoja para la planta, en primer lugar es necesario identificar cómo

**Figura 7.**

Arquitectura de una planta de café Variedad Castillo® con sus respectivas yemas, brotes, ramas (Primarias y secundarias), flores y frutos.

**Figura 8.**

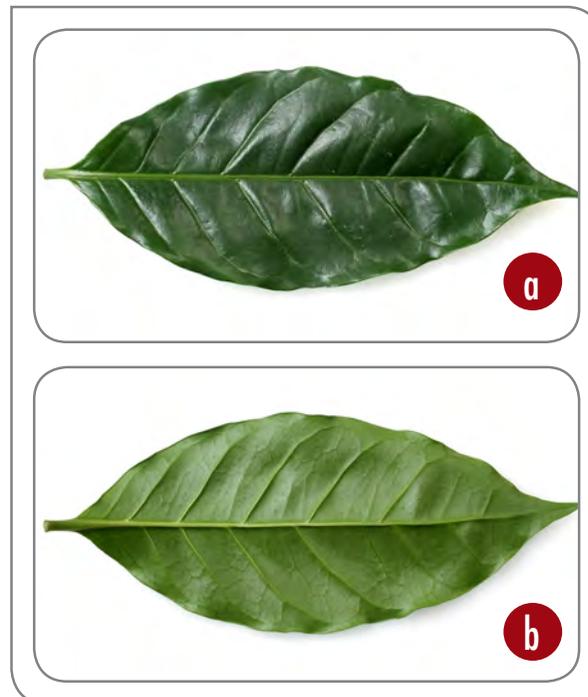
Hojas jóvenes de *C. arabica* L. Variedad Castillo®.

es su estructura para comprender cómo se logra su desarrollo y la constitución del área foliar indicada.

Estructura foliar

El término estructura foliar hace referencia a la conformación y la disposición de los diferentes órganos que conforman las hojas del café, y la ubicación de éstas en la planta. Al conocer la estructura foliar del café es posible definir prácticas del cultivo como la densidad de siembra, y a futuro tomar esta característica para la selección de materiales promisorios para las condiciones ambientales de Colombia.

Características generales de las hojas. En *C. arabica* las hojas son opuestas, elípticas, de color bronce o verde claro cuando son jóvenes (Figura 8) y se tornan verde oscuro a medida que se desarrollan. El color de las hojas en los primeros estados de desarrollo es una característica que permite diferenciar entre variedades de café. Así mismo, las hojas son glabras (Sin pelos) y cubiertas por una capa cerosa en la haz (Figura 9ab). El sistema de nervaduras es reticulado, con una nervadura central y de 9 a 12 nervaduras secundarias en ambos lados, recurvadas y sobresalientes en el envés. Los bordes son enteros y levemente ondulados.

**Figura 9.**

Hoja madura de *C. arabica* L. Variedad Castillo®. **a.** Haz; **b.** Envés.

Inicio del desarrollo de la hoja en el cafeto.

El desarrollo foliar en el cafeto inicia con una serie de divisiones en una de las tres capas celulares más externas, cerca de la yema apical, la cual se transforma en una protuberancia lateral o primordio foliar, que luego por divisiones continuas y crecimiento de sus células, se convertirá en una hoja (Figura 10) (Arcila et al., 2007).

El peciolo. Es el órgano que da soporte a la lámina foliar y que la une con el tallo. Su función aparte de sostenimiento está asociada con la conducción de agua, sales minerales y foto-asimilados desde el tallo hacia la hoja y desde ésta hacia los órganos vertedero. El peciolo



Figura 10.

Formación de la hoja del cafeto.

se une a la rama formando la axila foliar, en la cual se puede apreciar la formación de una inserción en forma de escudo. Por el extremo opuesto se encuentran unas asas que representan los vestigios de los primeros estados de expansión de la lámina foliar. Internamente contiene haces vasculares de xilema asociados a la epidermis superior, y del floema asociados a la epidermis inferior. Adicionalmente, en el tejido parenquimatoso se encuentran haces de menor tamaño que se hacen más pequeños a medida que se aproximan hacia la periferia de la hoja (Federacafé, 2008).

Estructura de la lámina foliar. En un corte transversal de la hoja de café, se puede observar la epidermis superior, inferior y el tejido del mesófilo (Figura 11).

- En *C. arabica* tanto la epidermis superior como la inferior son uniseriadas, con presencia de cutícula. El tejido del mesófilo consta de los parénquimas de empalizada y esponjoso.
- El parénquima de empalizada está constituido por una sola capa de células elongadas y perpendiculares a la superficie de la hoja, con abundancia de **cloroplastos**. Su diámetro varía de acuerdo con la especie (7 - 8 micrómetros), siendo este tejido más compacto que el esponjoso, ocupando cerca del 50% del espesor de la hoja.
- El parénquima esponjoso lo conforman varias células esféricas, de estructura menos compacta, con espacios intercelulares (Estructura lagunosa) menores que las del parénquima de empalizada y



Figura 11.

Corte transversal de una hoja de café. 20X

con **cloroplastos numerosos** y prominentes, que se encuentran rodeando las células de la corona del haz vascular.

- Los haces vasculares se encuentran debajo de las células del parénquima de empalizada y están rodeados por siete u ocho células en forma de corona, de mayor tamaño que las del parénquima esponjoso circundante, dando la apariencia de una corona denominada “cubierta de los haces vasculares”. Los cloroplastos en las células de la corona del haz vascular son similares en tamaño y posición a los del mesófilo (Vélez *et al.*, 1999).

Otra estructura muy importante de la hoja son los estomas o poros, que se encuentran en la lámina foliar, a través de los cuales se produce el intercambio gaseoso y la refrigeración de la hoja.

Las hojas del café son hipoestomáticas (Solo posee estomas en el envés), y su distribución es relativa, ya que depende de factores genéticos, condiciones ambientales y del estado de desarrollo de la hoja (Figura 12). Estas estructuras tienen la capacidad de abrirse y cerrarse rápidamente, por lo que la transpiración está bien regulada y, por lo tanto, la resistencia a la sequía es alta en esta especie (Wintgenset *al.*, 2009).

Cuando la transpiración es demasiado intensa, la planta se marchita (Las células pierden su turgencia o máximo tamaño por el contenido de agua existente en ellas) y su metabolismo general se hace más lento. La marchitez



Figura 12.

Estomas en hojas de *C. arabica* L. Variedad Castillo®.

demasiado avanzada es irreversible, de tal forma que representa un peligro potencial para la planta. Se estima que la Variedad Castillo® posee en sus hojas un promedio de 160 estomas/mm² (Castaño, 2013)¹.

Crecimiento de la hoja y área foliar

Formación y crecimiento de la hoja. La formación de hojas nuevas en el árbol de café se da durante todo el año pero existen épocas en las cuales este proceso se incrementa como consecuencia de un mayor brillo solar y una mejor disponibilidad de agua en el suelo. En la zona central cafetera, en un año neutro, la mayor formación de nuevas hojas se da en tres períodos: Entre febrero-abril, julio-agosto y noviembre-diciembre, siendo tradicionalmente más marcado en el primer período (Valencia, 1999).

Existe una tendencia a reducir la tasa de aparición de nuevas hojas en las ramas primarias con el transcurso del tiempo. Sin embargo, esto se compensa con la aparición de ramas secundarias, las cuales también presentan formación de hojas (Valencia, 1998).

En el café, la formación de hojas, y por lo tanto el área foliar, son características que varían dependiendo de la especie, edad del cultivo, distancia de siembra, estado fitosanitario y condiciones ambientales. Es así como:

- En café variedad Caturra el primer par de hojas verdaderas aparece 75 días después de la germinación y su máximo desarrollo se alcanza después de 20 a 25 días. En las ramas primarias de árboles adultos, aproximadamente cada 15 a 20 días aparece un nuevo par de hojas (Valencia, 1983). Las hojas del café tardan entre 40 - 60 días en alcanzar su máxima longitud (25-30 cm²) (Valencia, 1983; Arcila, 1985). El número de hojas en una planta difiere según las condiciones de luminosidad y altitud (Tabla 1) (Valencia, 1998).
- En árboles de variedad Caturra, de 4 años, se registró un número de hojas promedio de 3.920, 6.400 y 7.600 para densidades de siembra de 10.000, 5.000 y 2.500 plantas/ha, respectivamente. En variedad Colombia, en árboles de esta misma edad, se encontraron valores máximos de número de hojas de 4.365, 11.623 y 12.521 para las mismas densidades. Así mismo, se encontró una tendencia a disminuir el tamaño promedio de las hojas con la edad. El desarrollo foliar de las variedades Caturra y Colombia muestra que entre más amplias sean las distancias de siembra, el área foliar por planta es mayor, al alcanzar valores cercanos a 20 m², a una densidad de 2.500 plantas/ha, y contrastar con

¹ CASTAÑO, A. 2013. Comunicación Personal. Fisiología Vegetal – Cenicafé.

Altitud(m)	Altura (cm)		Peso seco(kg)		Número de hojas	
	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra
1.050	22	32	3,9	5,7	18	23
1.250	24	27	4,6	4,5	23	21
1.550	17	22	3,3	4,1	18	20
1.850	15	16	2,5	2,5	17	16
2.050	9	9	1	1,2	14	14

Tabla 1.

Altura, peso seco y número de hojas por planta de café var. Caturra en estado de almácigo, a diferentes altitudes (Adaptado de Valencia, 1998).

valores de 10 m² a densidades de 10.000 plantas/ha, en árboles de 4 años (Valencia, 1973; Arcila y Chávez, 1995) (Figura 13).

- En árboles de la Variedad Castillo®, sembrados a una densidad de 10.000 plantas/ha, se registró un número de hojas promedio de 495, 727 y 1.504, en edades de 14, 17 y 25 meses, respectivamente. En estos mismos árboles, el área foliar estuvo entre 1,4 y 3,5 m², evidenciándose una rápida tendencia a incrementar este valor con la edad del cultivo (Figura 14) (Flórez, 2013)².
- El valor promedio de área foliar en árboles de 20 meses de edad, a una densidad de 5.000 plantas/ha, en variedad Caturra, en líneas F4 de variedad Colombia y en líneas componentes de la Variedad Castillo® es de 2,30 m², 2,50 m² y 2,73 m², respectivamente.

Para lograrlo, es necesario que el área foliar se distribuya uniformemente en el dosel de la planta y de esta forma asegurar una adecuada cobertura del suelo (Figura 15).

- La relación entre el área foliar que conforma el dosel de la planta (Tomada sobre una sola cara de cada hojas) y su proyección en el terreno (Área de suelo) se denomina índice de área foliar (IAF), cuyo valor es adimensional (Gardner *et al.*, 1985). Debido a que la radiación solar cubriría toda la superficie del suelo en ausencia de plantas, se puede concluir que el IAF es un indicador de la cantidad de área foliar disponible por unidad de radiación solar.
- Las variedades Caturra y Colombia presentan valores máximos de IAF de 8 y 7, respectivamente. Para la variedad Caturra, con un IAF de 8 se obtienen las máximas producciones; este valor se alcanza a los 3 años, con una densidad de 10.000 plantas/ha, y a los 4 años, con 5.000 plantas/ha (Valencia, 1973). En árboles de 3,5 años de variedad Colombia, se encontraron IAF máximos de 6,1 a una densidad de siembra de 12.500 plantas/ha (Castillo, 1995).

Índice de área foliar. Para que un cultivo use eficientemente la radiación solar, gran parte de ésta debe ser absorbida por los tejidos fotosintéticamente activos.

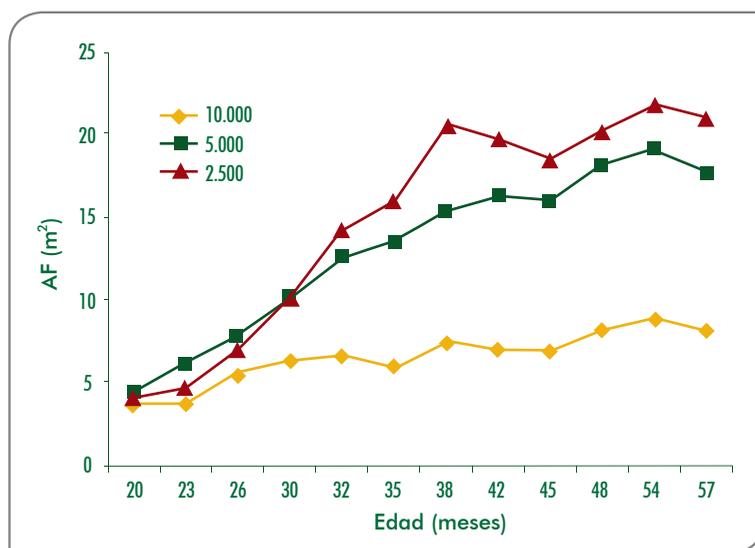


Figura 13.

Área foliar de árboles de variedad Colombia, en diferentes densidades de siembra y en distintas edades (Tomado de Arcila y Chávez, 1985).

² FLÓREZ, C. 2011. Proyecto "Determinación de la variabilidad genética de la floración". Cenicafé

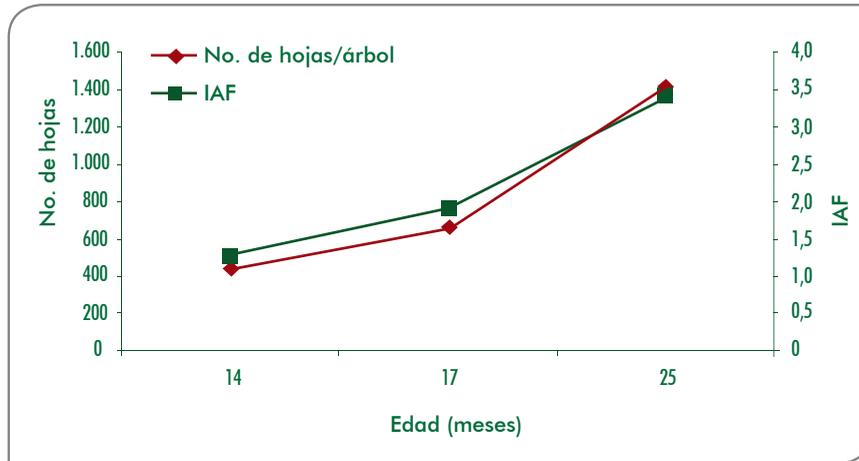


Figura 14.

Área foliar y número de hojas por árbol en variedad Castillo® en diferentes edades.³

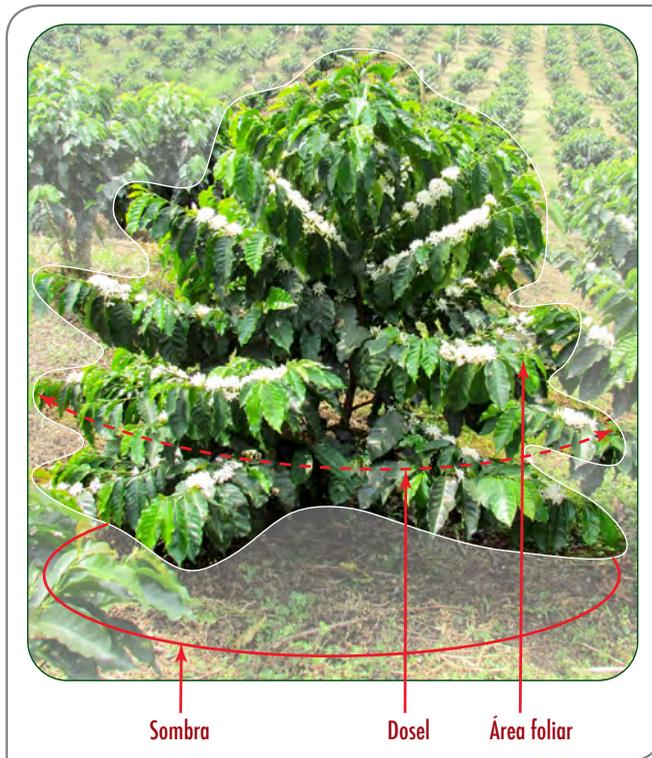


Figura 15

Índice de área foliar - IAF: Relación entre área foliar (Dosel) y área del suelo (Sombra)

- En plantaciones establecidas con la Variedad Castillo® en edades de 14 a 25 meses, con una densidad de 10.000 plantas/ha, el IAF promedio fue de 2,37 (Flórez, 2013)³.

- El IAF en promedio para árboles de 20 meses de edad y sembrados a una densidad de 5.000 plantas/ha de la variedad Caturra, de cuatro líneas F4 de variedad Colombia y de cuatro líneas componentes de la variedad Castillo® fue de 1,14, 1,25 y 1,60 respectivamente (Figura 16) (Flórez, 2011).

Consideraciones prácticas

Los cultivos más eficientes tienden a invertir la mayor parte de su crecimiento vegetativo en expandir su área foliar, lo que resulta en un mejor aprovechamiento de la radiación solar (Watson, 1947; Valencia, 1973).

Prácticas agronómicas como la fertilización, densidad de siembra óptima (Dependiendo de la variedad) y un adecuado arreglo espacial, son importantes para incrementar la interceptación de luz y maximizar la cobertura del suelo por el dosel.

Duración y caída de hojas. La duración de las hojas es afectada por factores como déficits hídricos severos, altas temperaturas y deficiencias nutricionales, los cuales reducen la cantidad de carbohidratos en la planta, siendo esto mucho más notorio durante la maduración del fruto (Arcila, 1985).

³ FLÓREZ, C. 2013. Informe Proyecto "Caracterización de la aplicación combinada de reguladores fisiológicos y nutrientes foliares sobre la producción de *C. arabica* variedad Castillo® General. Cenicafé.

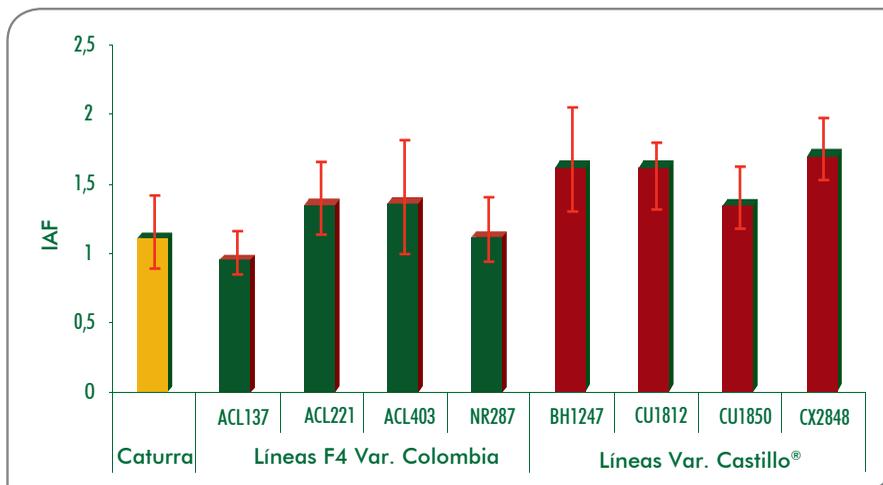


Figura 16.

Índice de área foliar promedio en tres variedades de café: Caturra, Colombia y Castillo, en plantas de 20 meses de edad (Flórez, 2011).

En la zona cafetera las hojas duran en promedio de 10 a 15 meses en cafetales bajo sombra y de 9 a 14 meses en cafetales a plena exposición solar (Arcila y Valencia, 1976). El valor pico de caída natural de las hojas se da entre octubre y diciembre, lo cual coincide con la época de la cosecha principal (Arcila, 1985).

Relación entre el desarrollo foliar y la capacidad de asimilación de carbono.

A medida que las hojas envejecen, su capacidad de intercambio gaseoso se reduce, disminuyendo de esta manera su tasa fotosintética.

Las hojas que presentan mayores tasas fotosintéticas son las del tercero y cuarto nudo a partir del ápice de la rama, esta información es de gran importancia a la hora de realizar estudios relacionados con capacidad de intercambio gaseoso.



Figura 17.

Ganancia en área foliar en relación con la edad de la hoja en *C. arabica* (López, 2004).

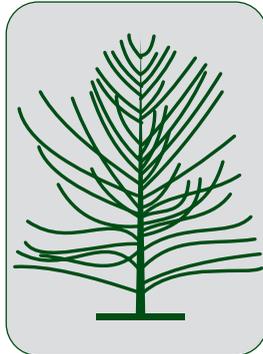
Para *C. arabica* var. Caturra, la edad en el cual la hoja llega a su máxima capacidad de asimilación de carbono es aproximadamente a los 60 días después de emergencia, luego de este tiempo declina su eficiencia en capturar carbono (Figura 17) (López, 2004).

Arquitectura del dosel

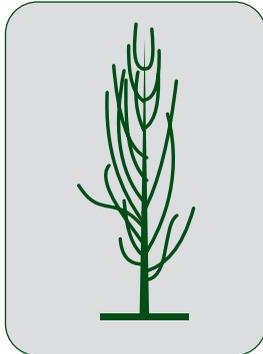
De acuerdo con la inclinación de las hojas existen cuatro clases de distribución del dosel de las plantas.

- **Planófila**, cuando la mayor proporción de los ángulos foliares se encuentra entre 0° y 30°.
- **Plagiófila**, cuando la mayor proporción de los ángulos foliares se encuentra entre 45- 60°.
- **Erectófila**, cuando la mayor proporción de los ángulos foliares está entre 60° - 90°.
- **Extremófila**, cuando se presenta un doble pico de ángulos de inclinación foliar con máximos en 0° y 90° (Wit, 1965).

Las plantas con ramificación plagiotrópica (Planófila), son más productivas que las de tipo ortotrópica (Erectófila) (Salazar, 1988). Sin embargo, la distribución angular puede cambiar cuando las plantas alcanzan su mayor actividad productiva. El peso de la cosecha y la mayor edad de los cafetos conducen a que las ramas se agobien y, en consecuencia, se presenten dos tipos de distribución en la misma planta: La original, inmodificada en la parte superior, y la modificada predominantemente plagiotrópica en los estratos inferiores, lo que puede facilitar la penetración de la luz al interior del dosel. Así mismo, prácticas de manejo como las podas, también modifican la arquitectura de la planta (Figura 18) (Arcila et al., 1990).



Planófila



Erectófila

Arquitectura de la planta tipo planófila variedad Caturra y tipo erectófila variedad Erecta.

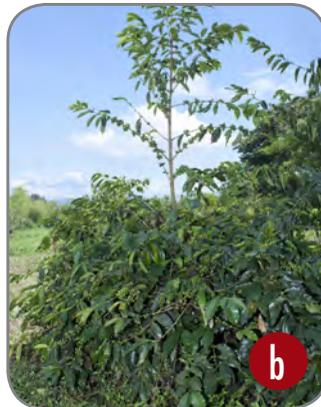
C. arabica presenta dos tipos de arquitectura con relación a la disposición de las ramas: Erectófila y planófila.

Planófila con ramificaciones predominantes plagiotrópicas, como ocurre en la variedad Caturra, en la cual las ramas se insertan en un ángulo aproximado de 80° - 90° con relación al tallo (Mejía, 2006).

Erectófila con ramificaciones predominantemente ortotrópica, como se presenta por ejemplo en la variedad Erecta, donde las ramas se insertan en un ángulo de 30 - 40° con las hojas casi horizontales.



a



b



c

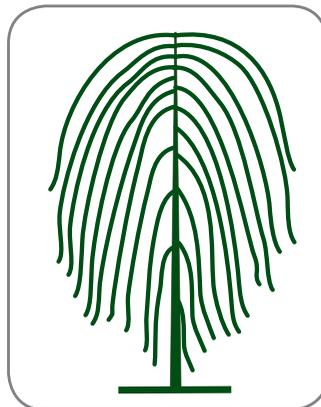
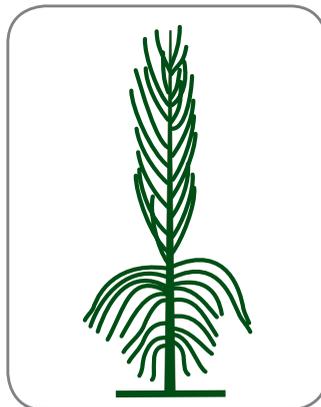
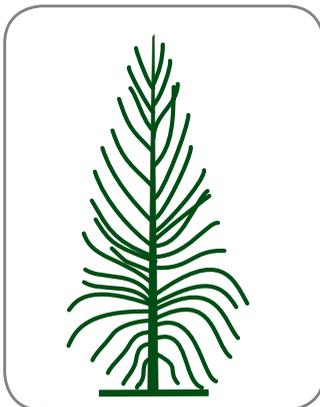


Figura 18.

Modificaciones de la arquitectura del café. **a y b.** Modificaciones relacionadas con la edad; **c.** Modificación por poda de la yema apical del tallo ortotrópico.

Los hábitos de crecimiento y producción del cafeto en Colombia, así como su arquitectura hacen que la planta presente una conformación especial que afecta su comportamiento. Es así como se determinaron “regiones fisiológicas” en la planta, en las cuales se establecen las zonas de crecimiento vegetativo activo, zonas de crecimiento reproductivo (flores y frutos) y zonas de senescencia (Figura 19) (Arcila, 1990).

El ángulo de inserción de la rama afecta la arquitectura de la planta y la distribución de la luz dentro del árbol.

Los valores medios para la variedad Castillo®, con una edad de 3 a 4 años varían entre 24 - 29°. En plantas de mayor edad se observa un mayor ángulo de inserción en las partes terminales de las ramas productivas. El ángulo de inserción de la hoja también afecta la arquitectura de la planta y la interceptación de la luz (Alvarado y Ochoa, 2006).

El dosel y la radiación solar. La eficiencia fisiológica primaria de una planta está relacionada con la interceptación de la luz, absorción de la energía incidente y su conversión en biomasa (Raíces, tallo, hojas, flores

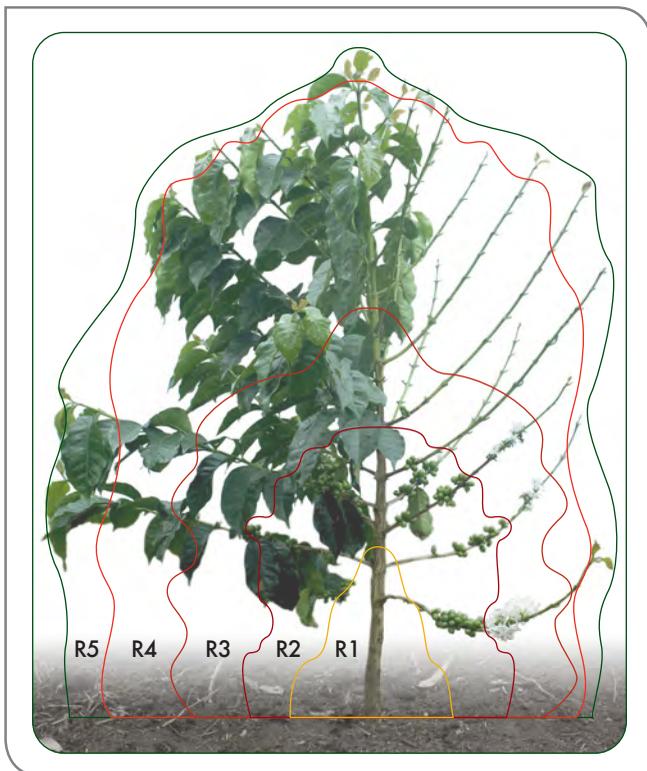


Figura 19.

Regiones fisiológicas de una planta de café en etapa productiva (3 años). R1: Senescencia. R2: Crecimiento activo de frutos. R3: Desarrollo floral. R4: Crecimiento activo de hojas. R5: Región meristemática.

y frutos), lo cual está relacionado directamente con la estructura, el ángulo de inserción de ramas y hojas, la forma y el tamaño de la hoja, el índice de área foliar (IAF) y la actividad fotosintética por unidad de área foliar, entre otros factores (Castillo et al., 1997). Dentro de las características del dosel, **la orientación del follaje guarda una relación estrecha con la interceptación de la luz** en los distintos estratos del árbol, asociada a su arquitectura, y por ende, ejerce una marcada influencia sobre la tasa fotosintética del cultivo (Cabezas et al., 2005). En árboles en producción de *C. arabica* variedad Colombia, sembrados a una densidad de 5.000 plantas/ha, el mayor porcentaje de las hojas en los cuatro estratos del árbol (Superior, medio superior, medio inferior e inferior) está en el rango de inserción entre 0-30°, lo cual es típico de plantas con distribución foliar planófila (Castillo et al., 1996).

Consideraciones prácticas

El diámetro de la copa del árbol depende de la longitud de las ramas y del ángulo de inserción de las mismas. Éstas son características determinantes para la correcta selección de la distancia de siembra del cultivo. De igual manera, existe una relación directa entre la altura y el diámetro del árbol, debido a que la selección de plantas con mayor altura, favorece el incremento de la longitud de las ramas y el número de nudos productivos por rama (Alvarado y Ochoa, 2006).

Variabilidad en la arquitectura del café

De acuerdo con la morfología de las ramas y hojas, la variedad Castillo® se divide en cuatro plantas tipo (Alvarado et al., 2002):

Tipo A. Ramas que confieren una apariencia cónica, con presencia de ramificación secundaria. Hojas similares al tipo Caturra, en cuanto a su forma y tamaño, aunque su posición en las ramas puede ser pendiente. Poseen vigor vegetativo y una altura similar a la de la variedad Caturra, aunque a veces puede ser menor que ésta.

Tipo B. Árboles con ramas más largas que en el tipo A, abiertos, con copa plana o ligeramente redondeada,

debido a la longitud de las ramas. Sus hojas son de mayor tamaño, comparadas con las de la variedad Caturra, con inserción normal o pendiente. La altura de las plantas puede ser mayor a la de la variedad Caturra.

Tipo C. Corresponde al fenotipo observado en la variedad Caturra.

Tipo D. Son árboles abiertos por la mayor longitud de sus ramas, con ramificación secundaria escasa o normal. Hojas con bordes ondulados, nervaduras acentuadas y de forma redondeada, dispuestas la mayoría de las veces en forma vertical.

Consideraciones prácticas

La Variedad Castillo® presenta plantas con diferentes tipos de arquitectura. Este hecho no constituye una limitación en la capacidad productiva de la planta, ni está relacionado con enfermedades o disturbios fisiológicos. Esta diversidad está relacionada con la capacidad de captación y distribución de la luz.

La floración del café: Comienzo de la etapa reproductiva de la planta

La floración del café es un indicador de la producción y de la distribución de la cosecha a lo largo del año en la geografía cafetera. El desarrollo floral está determinado

por las condiciones medioambientales propias de cada región. Particularmente, en el café este proceso es complejo y se inicia de 4 a 5 meses antes de la apertura de la flor o antesis (Camayo y Arcila, 1996; Camayo et al., 2003).

El desarrollo de las inflorescencias

Las flores del café se forman predominantemente a partir de yemas seriadas, ubicadas en las axilas foliares, que se encuentran en los nudos de las ramas plagiotrópicas y con menor frecuencia en los nudos de los brotes ortotrópicos (Camayo y Arcila, 1996) (Figura 20a-b). Cada nudo presenta dos axilas foliares opuestas, y en cada axila se forman de tres a cuatro yemas. Cada yema posee un tallo corto denominado pedúnculo, el cual presenta varios nudos en los que se insertan dos hojas diminutas y opuestas, denominadas brácteas, en cuyas axilas se producen alrededor de cuatro botones florales (Figura 20c). Este conjunto constituye la inflorescencia, denominada también glomérulo (Figura 20c) (Arcila, 2004). Esto significa, que cada nudo tiene el potencial para producir entre 24 y 32 flores, sin que esto sea una regla absoluta.

En términos generales, la región cafetera Colombiana, se caracteriza por que en cada rama y en cada nudo, se presentan diferentes estados de desarrollo de las yemas axilares y de los botones florales a través del tiempo (Camayo y Arcila, 2003). Los botones florales de la yema más cercana a la rama son los primeros en alcanzar su madurez.

El desarrollo de los botones florales del café está regulado por una compleja interacción entre factores ambientales (Externos) y genéticos (Internos), que permiten su diferenciación, basados en características morfológicas, en seis etapas del desarrollo floral en el café, así:



Diferenciación (BBCH-51)⁴. Durante esta etapa ocurre una activa división celular que trae como resultado la formación de una serie de yemas, que de diferenciarse en estructuras reproductivas darán origen a las inflorescencias. En esta etapa, el nudo está rodeado por estípulas de color verde claro. Esta etapa puede durar aproximadamente entre 30 y 35 días (Camayo y Arcila, 2003; Arcila, 2004).

⁴ BBCH: Escala extendida para la descripción de los estados de crecimiento del café (Arcila et al., 2001).



Iniciación de la inflorescencia (BBCH-53). Los botones florales de color verde, presentan un tamaño promedio de 2 mm, y se encuentran recubiertos por una capa delgada de mucilago de color ámbar, cuya función parece estar ligada a conservar la humedad del botón durante este estado (Drinnan, 1992; Camayo y Arcila, 2003; Arcila, 2004).



Desarrollo de los botones florales (BBCH-57). Se observan botones florales de color verde, con un tamaño promedio de 2,6 mm, completamente adheridos entre sí, aun sin abrir, que sobresalen por debajo de las estípulas, emergiendo de la inflorescencia. Esta etapa tiene una duración de 45 días aproximadamente (Arcila *et al.*, 2001; Camayo y Arcila, 2003; Arcila, 2004).



Latencia (BBCH-58). Botones florales verdes e individuales, con un tamaño aproximado de 4-6 mm, que cesan su crecimiento y entran a una fase de reposo inducido por la exposición continuada de la yema a estrés hídrico. Los botones en este estado se denominan "cominos" (Arcila *et al.*, 2001; Camayo y Arcila, 2003).



Preantesis (BBCH-59). Botones florales definidos, blancos, con pétalos cerrados. En este estado, son flores completamente desarrolladas y próximas a abrir. Las lluvias repentinas, la reducción súbita de la temperatura y las variaciones en el contenido de hormonas a nivel del nudo, estimulan el crecimiento del botón floral latente, que aumenta su longitud entre tres y cuatro veces. En este estado los botones florales son conocidos como "velones" (Arcila *et al.*, 2001; Camayo y Arcila, 2003; Arcila, 2004).



Antesis o apertura floral (BBCH60-69). Botones florales completamente abiertos, de aproximadamente 20 mm de longitud, que dejan al descubierto pétalos, estambres y pistilo (Arcila *et al.*, 2001; Arcila, 2004). Son flores maduras y funcionales (Adaptado de Wormer y Gituanja, 1970; Arcila *et al.*, 2001; Camayo y Arcila, 2003).

La flor del café

La flor de café está compuesta por una corola con cinco lóbulos, un cáliz, cinco estambres y el pistilo (Ovario, estilo y estigma). El ovario está en la base de la corola (Ífero) y contiene dos óvulos, que una vez fertilizados, normalmente van a producir dos semillas de café (Figura 21). La flor se une a la inflorescencia mediante el pedicelo. Los estambres se insertan entre los lóbulos a través de filamentos cortos. Cada estambre posee una antera que contiene cuatro sacos polínicos (Arcila, 2004).

Las flores abren temprano en la mañana y permanecen abiertas entre 2 y 3 días aproximadamente. Una vez fertilizadas, las anteras se tornan de color café. Después de 2 días la corola blanca y todas las demás partes de la flor caen, dejando el ovario al descubierto, dando inicio a la formación del fruto. Esta etapa es conocida como "pétalos caídos" (Figura 22). Si la fertilización falla, los estigmas y la corola permanecen adheridos al ovario.

La conformación y peso del polen de café hace que sea fácilmente diseminado por el viento (Polinización



Figura 20.

Ubicación de las inflorescencias del café. **a.** Nudos con botones florales en ramas plagiotrópicas; **b.** Nudo floral en brote ortotrópico: flores caulinares; **c.** Partes que componen una inflorescencia (Y: yema; Br: bráctea; Bf: botón floral; Gl: glomérulo o inflorescencia).

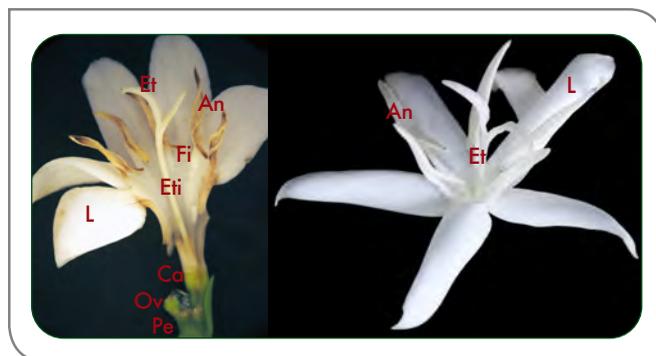


Figura 21.

Morfología de la flor del café. Pistilo (Ov: ovario, Eti: estilo y Et: estigma); Ca: cáliz; Estambre (An: antera y Fi: filamento); Pe: pedicelo; L: Lóbulo.



Figura 22.

Primeros signos de fertilización efectiva, etapa conocida como pétalos caídos. Inicio de la formación del fruto (Fr).

anemófila). El aroma dulce de las flores del café atrae una gran variedad de insectos, principalmente abejas, las cuales contribuyen al proceso de polinización (Wintgens, 2004). Se reconoce que en *C. arabica* entre el 90%-95% de la polinización es llevada a cabo con polen procedente del mismo árbol (Autopolinización). De manera contraria, *C. canephora* debe ser polinizada por

polen proveniente de otro árbol (Polinización cruzada). Pese al alto grado de autopolinización de *C. arabica*, se sugiere que un incremento en el número de visitas de insectos polinizadores, favorece el cuajamiento, relación del número de flores abiertas versus número de frutos formados, y por ende, su productividad (Free, 1993; Klein *et al.*, 2003; Vergara y Badano, 2009; Jaramillo, 2012).

Crecimiento reproductivo: Días a floración

Se considera como días a floración, el tiempo transcurrido entre la siembra y el momento en que el 50% de las plantas florecen. Este tiempo es altamente dependiente de la fecha de siembra, así como de la oferta ambiental donde se desarrolla el cultivo (Arcila et al., 2007).

Todo cultivo requiere una cantidad constante de calor o energía para su crecimiento y desarrollo. Una de las maneras para medir esta energía es indirectamente mediante la suma de temperaturas dentro del rango de tolerancia del cultivo, que para el caso del café está entre 10 y 32 °C, con una temperatura óptima de 21 °C. A esta suma se le denomina unidades térmicas (Jaramillo y Guzmán, 1984).

Al analizar diferentes localidades de la geografía cafetera colombiana, se determinó que existe variación en términos de días a floración. Es así como en algunas regiones este proceso tarda 8 meses, mientras que en otras puede requerir hasta 14 meses (Figura 23) (Jaramillo, 2005; Jaramillo et al., 2011).

En gran medida, esta variación puede explicarse en términos de requerimientos energéticos del cultivo. El café requiere 3.250 unidades térmicas entre la siembra de la planta en el campo, hasta su primera floración. Lo que significa que en localidades donde la temperatura promedio sea más baja, requerirán más días para acumular la energía necesaria para alcanzar el proceso de floración (Jaramillo y Guzmán, 1984).

Al relacionar distribución de la floración con diferentes altitudes, 1.100, 1.400 y 1.900 m, se encontró que a

Consideraciones prácticas

Las tasas de crecimiento del cultivo no sólo están asociadas a la temperatura, sino también al brillo solar y a los balances hídricos.

1.100 m, con una temperatura promedio de 23 °C y más horas de brillo solar, la floración y por lo tanto la cosecha, ocurrieron más temprano, comparado con cultivos desarrollados a 1.900 m y 17 °C, cuyas floraciones fueron más tardías y dispersas (Vélez et al., 2000).

Factores que determinan el proceso de floración en el café

La floración del café está gobernada por una serie de factores genéticos y ambientales, que actuando de manera sinérgica desencadenan este proceso.

Factores ambientales

En el café, la floración está determinada por la sumatoria de diferentes variables ambientales. Dependiendo de la ubicación geográfica del cultivo factores tales como fotoperíodo, disponibilidad hídrica, cambios en la temperatura y radiación pueden actuar como variables dominantes en cada una de las etapas del desarrollo floral (Figura 24).

- **Brillo solar.** Existe correlación entre el brillo solar y el número de botones florales en café (Castillo y López, 1966; Jaramillo y Valencia, 1980). Lo cual indica que días con bajo brillo solar, no favorecen la formación

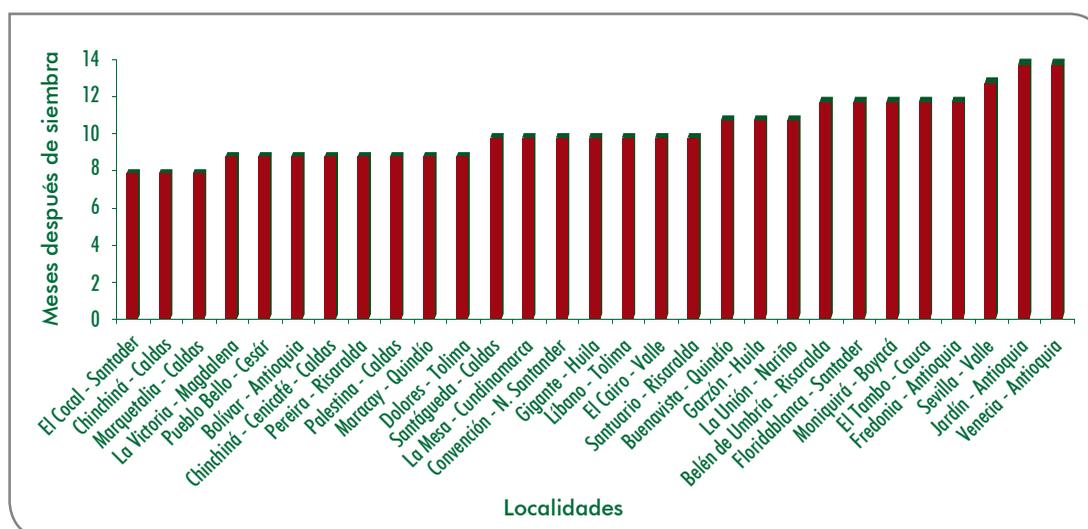


Figura 23.

Período de siembra a floración en diferentes municipios cafeteros de la geografía Colombiana.

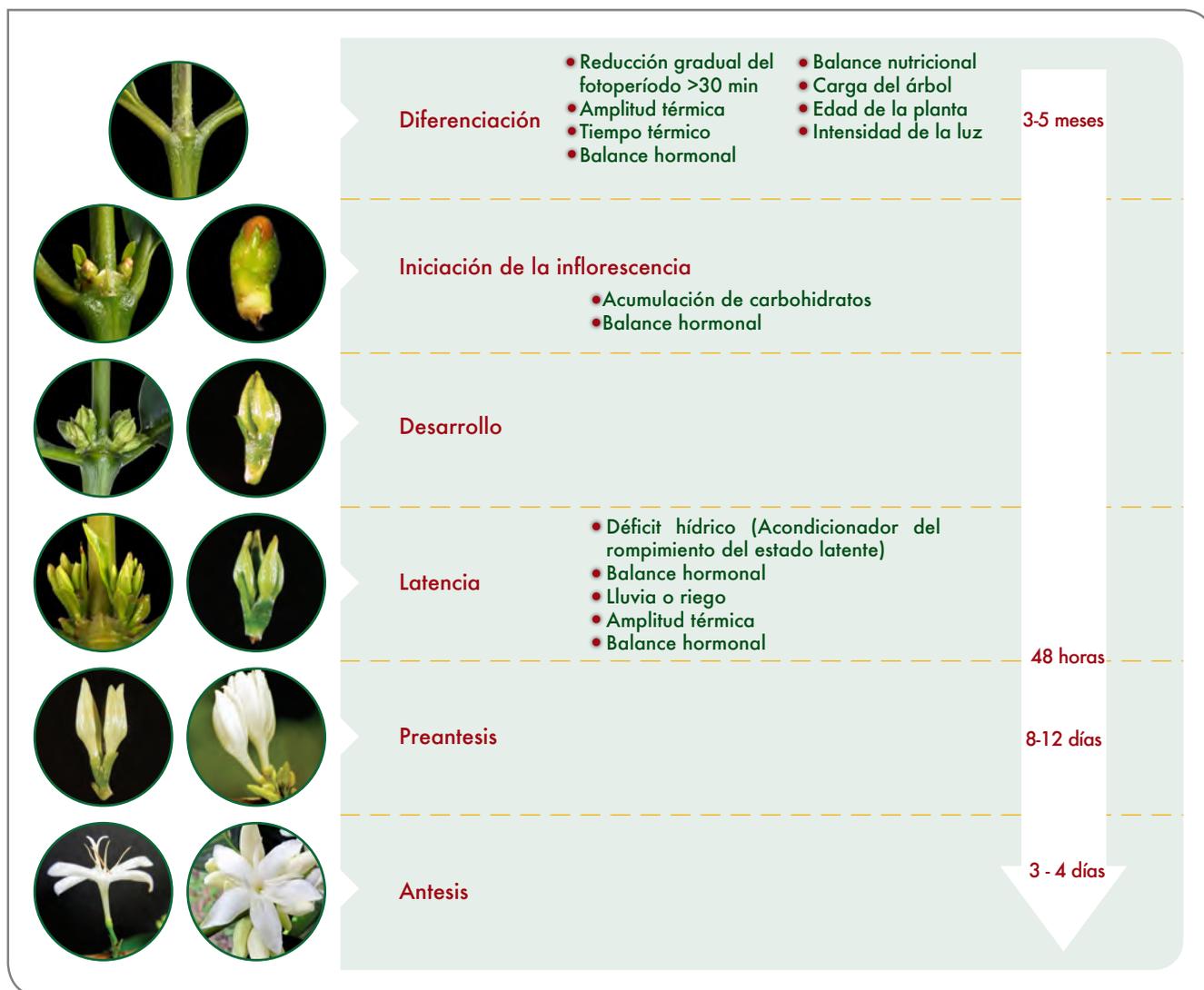


Figura 24.

Factores exógenos (Ambientales) y endógenos (De la planta) asociados a las diferentes etapas del desarrollo floral del café (Adaptado de Wormer y Guituanja, 1970; Camayo y Arcila, 1996).

de botones florales. Se estima que se requieren alrededor de 1.750 h.año⁻¹, para estimular una floración adecuada (Ramírez *et al.*, 2010). Este valor es concordante con las 1.700 h.año⁻¹ establecidas como valor a partir del cual el potencial productivo del café es considerado alto (ver capítulo de Factores climáticos que influyen en la producción del café).

- **Fotoperíodo.** Hace referencia a la duración del día, la cual depende de la época del año y de la latitud. En zonas cercanas al Ecuador (0° latitud Norte o Sur) la duración del día es igual a la de la noche. En la medida en que se aleja del Ecuador hacia el norte o hacia el sur, la longitud del día es mayor que la de la noche, en algunas épocas del año (Al inicio de la primavera hasta el inicio del otoño), y viceversa en

otras (Desde el inicio del otoño hasta el inicio de la primavera).

Se considera que el café es una planta de día corto (Franco, 1941; Piringer y Borthwick, 1955; Cannel, 1972). Lo cual significa que florece cuando la duración de la noche es superior a la del día. La zona cafetera colombiana se encuentra ubicada en la región ecuatorial (1 a 11° latitud Norte, entre los departamentos de Nariño y La Guajira). En regiones ubicadas por encima de 4,5° LN, entre el solsticio de verano y el solsticio de invierno, se observan cambios graduales en la duración del día, superiores a 30 min, lo cual favorece la floración del café (Figura 25).

- **Temperatura.** El tiempo térmico (TT), hace referencia a la cantidad constante de calor que requiere un

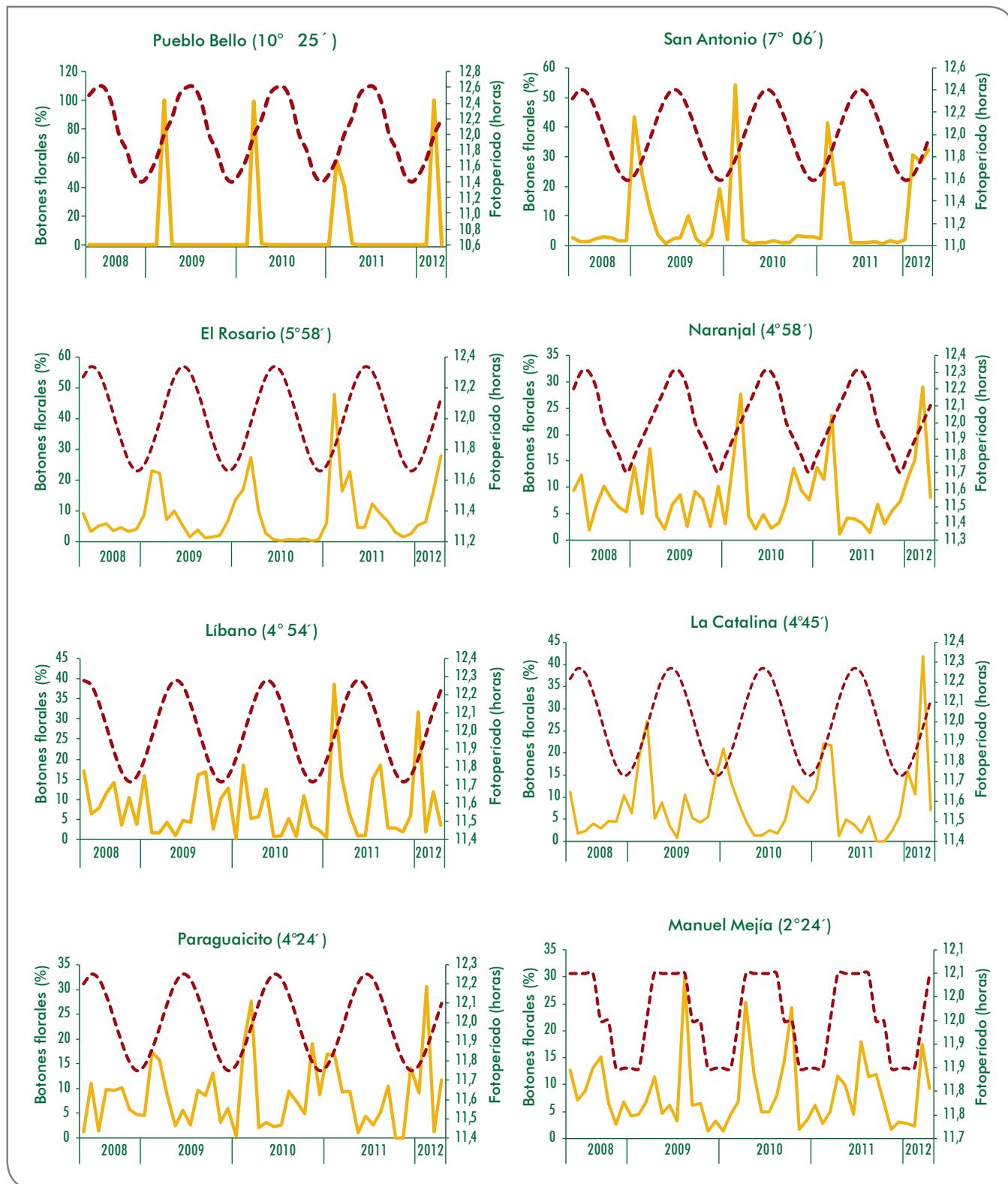


Figura 25.

Relación entre el porcentaje de floración y el fotoperíodo en función de la latitud. Línea amarilla: botones florales en estado de preantesis (BCCH-59); Línea roja punteada: fotoperíodo (Peña et al., 2011).

organismo para su crecimiento y desarrollo. La diferencia entre la temperatura máxima y mínima del día se denomina amplitud térmica (AT).

Debido a su ubicación, en la región cafetera colombiana la temperatura del aire es muy constante bajo la misma altitud. Sin embargo, en la zona andina colombiana la AT puede alcanzar 20°C, caracterizándose por disminuir cuando se asciende en altura, e incrementar en los meses secos del año con respecto a los meses húmedos (Jaramillo, 2005; Ramírez *et al.*, 2010).

El óptimo de temperatura media del aire para *C. arabica* se encuentra entre 18-22°C, y para *C. canephora* entre 22-26°C. Cuando las temperaturas son superiores a 23°C y ocurre un período seco en la época de floración, se produce aborto floral y formación de flores “estrella”. Temperaturas inferiores a 18°C promueven el crecimiento vegetativo y reducen la tasa de diferenciación floral (Jaramillo, 2005).

La temperatura, representada por la acumulación térmica o tiempo térmico y por la amplitud térmica, explica en cierta medida la floración del café. Para una floración adecuada se requieren al menos 1.100°C de temperatura y menos de 50 días con amplitud térmica inferior a 10°C por trimestre (Ramírez *et al.*, 2011). La temperatura no es limitante para la floración en localidades donde la temperatura media del aire es superior a 20°C.

- **Disponibilidad hídrica.** En la región cafetera de Colombia, los ciclos de crecimiento, floración y cosecha están sincronizados con la disponibilidad de agua en el suelo. Ésta se puede determinar mediante un sistema de contabilidad de entradas y salidas de agua, denominado **balance hídrico**. En el café, las floraciones anteceden o coinciden con la iniciación de los períodos de máximo crecimiento (Arcila, 1990). Aunque, las deficiencias hídricas favorecen la floración, pueden limitar el crecimiento vegetativo y el desarrollo normal del fruto (Arcila y Jaramillo, 2003).

Una vez los botones florales alcanzan el estado de “comino” (BBCH58), entran en un período de reposo que puede durar varias semanas. Para que este período finalice y ocurra la antesis, además de la madurez adecuada de los botones latentes, se requiere de un estrés proporcionado por períodos secos de mediana a larga duración (> 10 días), interrumpidos por una lluvia o un cambio brusco en la temperatura (Arcila y Jaramillo, 2003). Períodos secos más pronunciados tienden a concentrar floraciones.

De manera contraria, el **exceso hídrico** se relaciona negativamente con la floración del café (Ramírez *et al.*, 2011).

Factores internos

El segundo grupo de influencia sobre el desarrollo reproductivo en café está asociado a factores internos de

la planta, tales como su **carga, nivel de carbohidratos y nutrición**, entre otros. Estos factores actúan de manera sinérgica con los factores ambientales.

- **Carga del árbol.** La presencia de frutos en diferentes estados retrasa, pero no elimina, la iniciación y diferenciación floral (Wormer y Gituanja, 1970). En Colombia, como en otros países cafeteros, se observa cómo el pico de floración es precedido de una cosecha importante.

Al evaluar la dinámica del desarrollo de los botones florales del café, bajo las condiciones de Chinchiná (Caldas), se observó que en árboles en su primer ciclo productivo (Primera floración) hay una mayor tendencia a que las yemas produzcan estructuras reproductivas (Camayo y Arcila, 1996). Sugiriendo también, que es probable que el crecimiento de algunas yemas florales jóvenes se vea afectado por la transformación en frutos de las yemas más avanzadas, lo que implicaría una disminución en la actividad meristemática apical de la rama y, por consiguiente, la iniciación de producción de brotes vegetativos en vez de reproductivos (Camayo y Arcila, 1996).

Cuando un árbol sustenta una alta carga de café, sólo una pequeña proporción de los recursos de la planta estarán disponibles para soportar el nuevo crecimiento vegetativo, el cual será el sustento de la próxima floración y, por ende, de la próxima cosecha, fenómeno conocido como **bienalidad** (Wrigley, 1988; Orozco, 1995). En resumen, **la carga del árbol tiene un efecto indirecto sobre el nivel de floración, al influir sobre el tiempo y la cantidad de crecimiento vegetativo.**

- **Nivel de carbohidratos.** El nivel de carbohidratos en el árbol del café juega un rol importante en la iniciación y diferenciación floral. Se determinó que existe una estrecha correlación entre el nivel de almidón en las ramas y el porcentaje de nudos con botones florales (Barros *et al.*, 1978). El cambio en el nivel de carbohidratos en la planta está asociado con el crecimiento del árbol bajo diferentes niveles de exposición solar.

En estudios previos, se relacionó el nivel de sombrío con la formación de hojas y glomérulos en plantas de café variedad Borbón, de 18 meses, y se observó que a menor exposición a la luz solar, hay menor cantidad de hojas y menor producción de inflorescencias por nudo. Se determinó entonces, la influencia que ejerce la intensidad de la luz y la cantidad de follaje formado sobre el número de glomérulos (Castillo y López, 1966).

- **Estado nutricional del árbol y floración.** Poca información se conoce acerca de efecto que la nutrición del árbol tiene sobre la floración del café. Existen reportes contradictorios acerca de si un alto contenido de nitrógeno en las hojas tiene o no influencia sobre el número de botones florales (Snoeck, 1981).

Anormalidades en el desarrollo floral del cafeto

El desarrollo normal de la flor del cafeto puede ser alterado por factores ambientales, nutricionales o patológicos, dando como resultado diferentes tipos de anomalías (Arcila, 2004).



Flores atrofiadas. Presentan un retardo del crecimiento de la corola con respecto a las otras estructuras internas de la flor, las cuales quedan expuestas total o parcialmente. Los pétalos son más pequeños de lo normal, de color verde claro o blanco, presentado una apertura floral entre parcial y total (Arcila, 2004).



Flores estrella. Caso extremo de atrofia floral, en el que todas las partes de la flor son diminutas, de color verde claro, dando la apariencia de una estrella (Arcila, 2004). Esta anomalía se presenta en todos los genotipos, pero de manera diferencial; ocurriendo con mayor frecuencia en ciertos materiales como Mundo Novo y Catuai (Moreno y Castillo, 1996). En variedades comerciales como Típica, Borbón, Caturra y Colombia su incidencia no alcanza el 1%, por lo cual no representa importancia económica (Moreno *et al.*, 1999). La presencia de esta anomalía es el resultado de condiciones ambientales desfavorables durante etapas tempranas del desarrollo floral. La ausencia de períodos secos definidos y temperaturas por encima de 28 °C favorecen el fenómeno de la flor estrella en cafeto (Arcila, 2004).



Secamiento de flores. Esta anomalía se presenta en todas las floraciones, en yemas de 4 mm de longitud aproximadamente, denominadas "cominos". Consiste en el secamiento parcial o total de los pétalos y estambres. Puede presentarse en una sola yema o en todo el glomérulo. Al involucrar la pérdida total de la flor, su importancia económica podría ser alta. Este disturbio es favorecido por el exceso de sombra, alta humedad y alta temperatura. Bajo estas condiciones se favorece el incremento hasta niveles patogénicos de poblaciones del hongo *Colletotrichum*, habitante natural de las ramas (Arcila, 2004).



Golpe de sol o escaldado. Anormalidad favorecida por condiciones de alto brillo solar durante ciertas horas del día, lo cual ocasiona quemazones incipientes en las flores. Lesiones que son aprovechadas por *Colletotrichum*, dañando en ocasiones la totalidad del botón floral (Arcila, 2004).



Retrogresión. Algunas yemas que no se alcanzan a diferenciar en flores, forman exceso de ramas secundarias o terciarias. Esta anomalía se presenta cuando hay condiciones ambientales desfavorables para la inducción floral, tales como exceso de humedad y alta temperatura. Así mismo, se presenta cuando hay condiciones nutricionales inadecuadas como la deficiencia de cinc (Arcila, 2004).

Pérdida de la capacidad de florecer (Aneuploidía o café macho). Problema de fertilidad, en el cual una planta presenta escasa o nula formación de flores o alta formación de flores rudimentarias. Es ocasionado por un defecto en el número básico de cromosomas. Este defecto puede ser reconocido a nivel de almácigo, donde las plantas tienen hojas exageradamente alargadas. Como medida preventiva, se recomienda eliminar este tipo de materiales (Arcila, 2004).

Petalodia. Es una alteración en el desarrollo de los estambres de la flor, los cuales se transforman en estructuras parecidas a los pétalos. En estas flores se observa un número de pétalos superior a cinco y no hay estambres. Es de muy baja ocurrencia, por lo que su importancia económica es baja (Arcila, 2004).

Abscisión floral (Caída de flores). Fenómeno poco estudiado. La caída de la flor se debe a la separación de la corola del ovario o a la separación del glomérulo de la axila foliar, sin haber ocurrido la fecundación (Arcila, 2004).

Deficiencia floral. Trastorno en el cual los nudos habilitados para florecer presentan bajo número de flores. Se asocia con factores tales como exceso de sombra, alta producción en el ciclo inmediatamente anterior, secamiento de las yemas, abortos florales y plantaciones con cafetales muy jóvenes o muy viejos (Arcila, 2004).

Floración continúa. Anormalidad que se caracteriza porque las plantas florecen continuamente durante el año. Se asocia a condiciones climáticas que favorecen la inducción floral continua. Aunque es una condición aparentemente favorable para la planta, puesto que regula la formación de frutos, también puede ser desfavorable puesto que se presenta una predisposición a la pérdida de flores y se incrementa el número de recolecciones por año. Una cosecha concentrada tiende a romper el equilibrio de la planta, lo que conduce a problemas como "paloteo" (Arcila, 2004).

Consideraciones prácticas

Cafetales establecidos en regiones adecuadas, renovados y sin exceso de sombra, garantizan floraciones apropiadas.

agroecológicas, que influyen en la distribución de las floraciones y de la cosecha de café para cada región. El conocer esta distribución es importante, en la medida en que se convierte en una herramienta para la toma de decisiones relacionadas con programación de labores administrativas, prevención de problemas fitosanitarios, por ejemplo, como indicador del ataque de la broca, cálculo de la capacidad y dimensión de la infraestructura requerida para el beneficio, entre otros (Arcila et al., 1993; Alvarado y Moreno, 1999; Rendón et al., 2008).

Patrones de floración en Colombia

En Colombia, la zona cafetera se ubica entre 1 y 11° de latitud Norte, por lo que existen diferencias en el comportamiento de las variables del clima y condiciones

Con base en el cálculo de balances hídricos, que permiten determinar en qué época se presentan períodos secos marcados -fundamentales para la apertura floral del café-, se establecieron cinco patrones de floración para Colombia (Tabla 2) (Arcila et al., 1993). Dicha información, en conjunto, con el hecho de conocer la época de mayor

susceptibilidad del fruto al ataque de la broca del café, permitió establecer cronogramas de manejo para el control de este insecto plaga (Arcila et al., 1993).

A partir de 2008, Cenicafé implementó el registro sistemático de las floraciones en ocho Estaciones Experimentales, representativas de la geografía cafetera Colombiana (Rendón et al., 2008; Ramírez et al., 2011).

Los registros de floración en las Estaciones Experimentales, se realizan semanalmente en plantaciones de café Variedad Castillo®, que se encuentran en plena producción (3-4 años). En éstas se

contabiliza el número de botones florales en estado de preantesis, de seis ramas del segundo tercio del árbol. Los árboles se seleccionan siguiendo un recorrido de muestreo pre-establecido, se registran dos períodos de floración, comprendidos entre mayo – octubre, que van a dar origen a la cosecha del primer semestre del año; y entre septiembre y abril, los cuales representan la cosecha del segundo semestre (Rendón et al., 2008)⁵.

Producto de esta investigación se generaron los registros y patrones de distribución de la floración y la cosecha de café para Colombia, desde 2008 hasta la fecha (Figuras 26 y 27).

Patrón de floración	Departamento	Período principal de floración	Porcentaje de cosecha aproximado	Inicio período crítico del ataque de broca
I	Nariño, Cauca, Huila, sur del Tolima, centro y sur del Valle del Cauca (1-4° LN)	Septiembre-Octubre	90-95%	Enero
II	Norte del Valle del Cauca, Quindío, Tolima, centro y sur de Cundinamarca (4-5° LN)	Febrero-Marzo Agosto-Septiembre	40-60% 40-60%	Junio Diciembre
III	Risaralda, Caldas, Antioquia, norte de Cundinamarca, Boyacá, Santander y Norte de Santander (5-8° LN)	Febrero-Marzo Agosto-Septiembre	75% 25%	Junio Diciembre
IV	Cesar, Magdalena y La Guajira (>9° LN)	Marzo-Abril	90-95%	Julio
V	Plantaciones a >1.700 m de altitud	Constante	-	-

Tabla 2.

Distribución de la floración versus períodos críticos para el ataque de la broca en la región cafetera colombiana.

Consideraciones prácticas

La floración es un proceso complejo que depende de la interacción entre factores genéticos y ambientales, los cuales pueden clasificarse como: (i) Factores estimulantes y (ii) Factores acumuladores. Cambios en cualquiera de estos factores repercuten de manera directa en la distribución y magnitud de la floración.

El rompimiento de la etapa de receso o latencia de los botones florales de café está determinado por un período seco de duración moderada, interrumpido por lluvias y cambios bruscos en la temperatura a través del día (AT). De la magnitud del déficit hídrico depende la concentración o dispersión de la floración.

⁵ Rendón et al., 2008. Disciplina de Fitotecnia, Cenicafé. Proyecto FIT1530: "Monitoreo de la floración del café en diferentes localidades de la zona cafetera de Colombia.

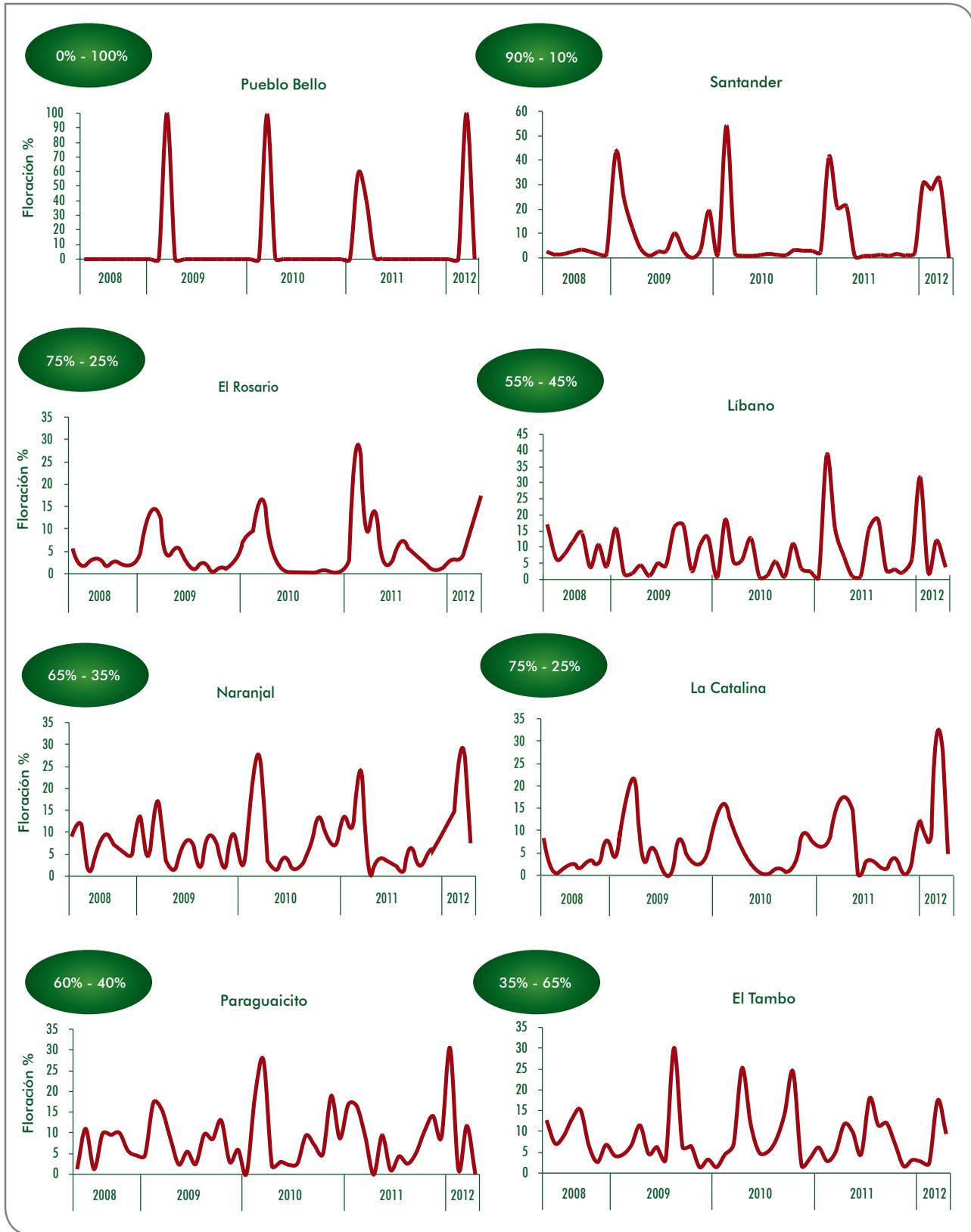


Figura 26.

Distribución de la floración por semestre (Mayo-septiembre / octubre-abril) en ocho Estaciones Experimentales de Cenicafé, distribuidas a lo largo de la Zona Cafetera Colombiana, desde 10°25' Latitud Norte (Pueblo Bello - Cesar) hasta los 2°24' Latitud Norte (El Tambo-Cauca). Los círculos denotan el porcentaje de floración correspondiente a cada semestre.

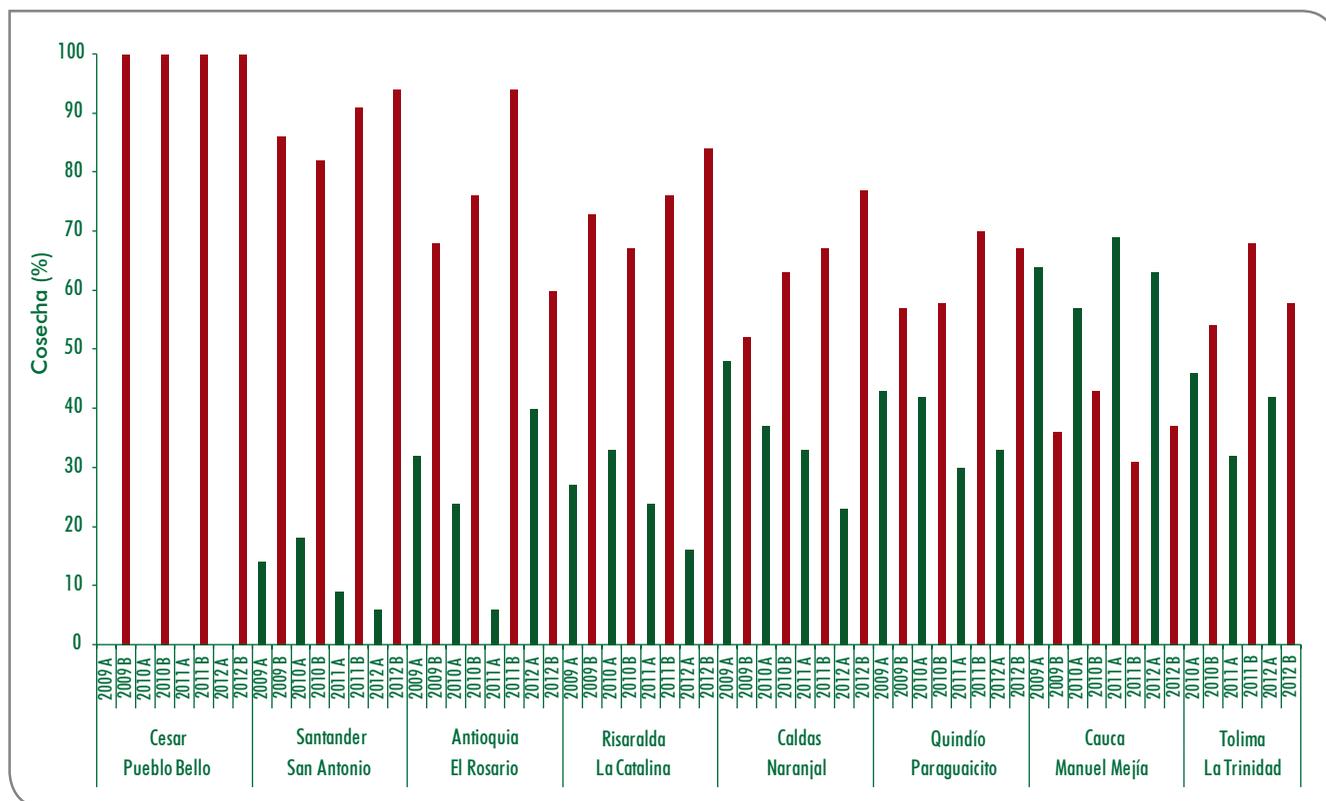


Figura 27.

Distribución porcentual de la cosecha por semestre (mayo-septiembre / octubre-abril) en ocho Estaciones Experimentales de Cenicafé, ubicadas en la Zona Cafetera Colombiana, desde los 10° 25' L Norte (Pueblo Bello - Cesar) hasta los 2° 24' L Norte (El Tambo-Cauca).

El fruto

La importancia biológica del fruto radica en que éste contiene las semillas que permiten la perpetuación de la especie.

El fruto es una drupa globular u ovoide de peciolo corto. Tiene una longitud y un diámetro de 10 a 15 mm y de 11,5 a 14,5 mm, respectivamente, y se le denomina cereza.

Etapas de desarrollo del fruto

En el desarrollo del fruto del cafeto se pueden distinguir cinco etapas (Arcila y Jaramillo, 2003) (Figura 28):

Primera etapa: Comienza una vez el óvulo es fertilizado. El crecimiento del ovario es muy lento, es una etapa donde hay muy poco crecimiento en tamaño y peso

del fruto. Tiene una duración de 7 semanas (0 - 49 Días Después de Floración - DDF).

Segunda etapa: En esta etapa el fruto crece rápidamente en peso y volumen, con altos requerimientos de agua. De presentarse oferta hídrica limitada hay secamiento, caída y presencia de granos negros. También es denominada como la etapa de formación del grano lechoso. Presenta una duración de 10 semanas (50 - 119 DDF).

Tercera etapa: El crecimiento del fruto es casi imperceptible. Esta etapa se caracteriza porque el fruto presenta una alta demanda de nutrientes, se endurece la almendra y si falta agua, el fruto no termina de formarse bien y se produce el grano conocido como averanado. Tiene una duración de 9 semanas (120 - 182 DDF).

Cuarta etapa: El endospermo llena el grano entero y es la época de maduración o cambio de color del fruto. Esta etapa tiene una duración de 6 semanas (183 - 224 DDF).

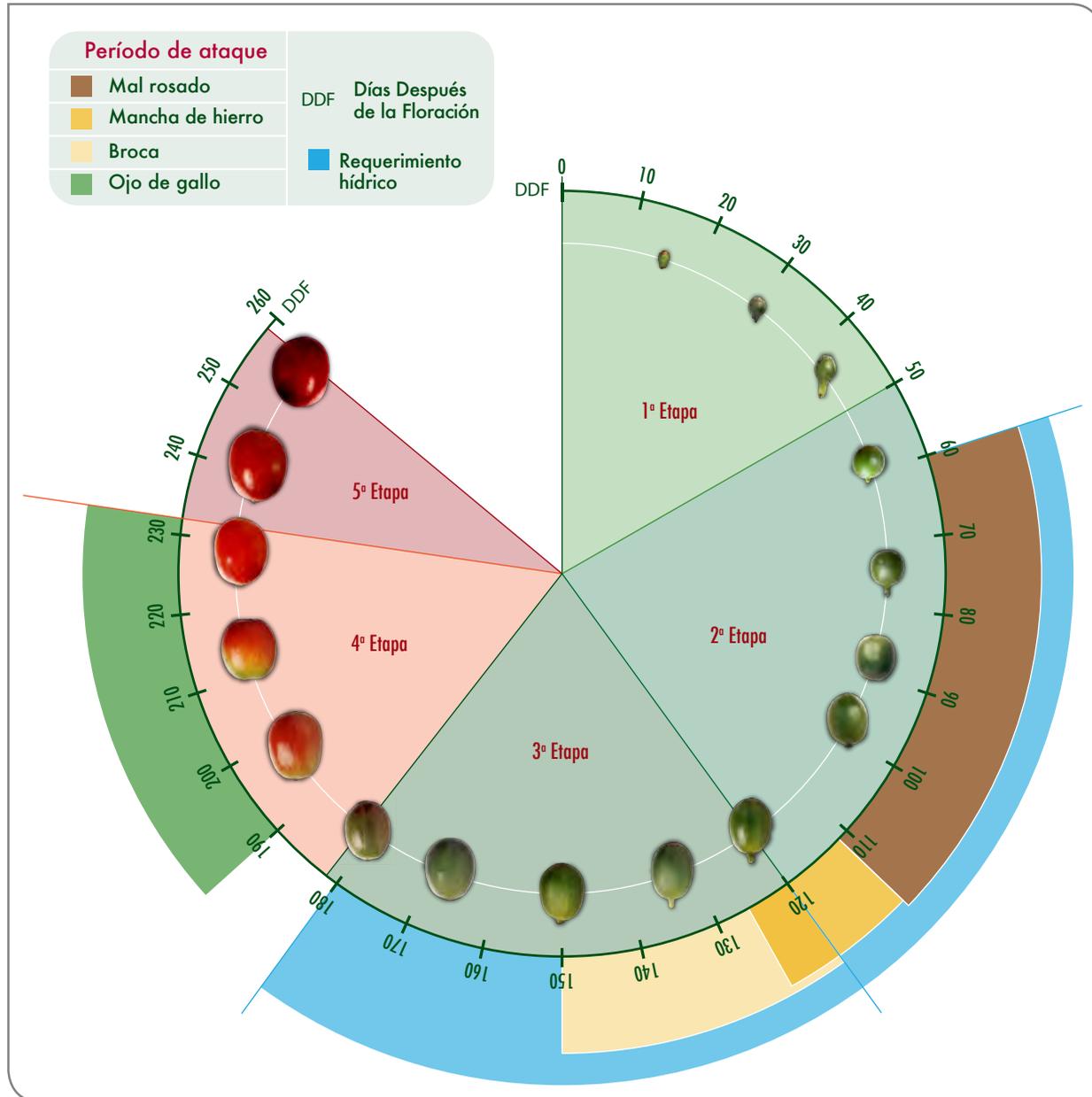


Figura 28.

Etapas de desarrollo del fruto de café y épocas de mayor susceptibilidad del fruto a diferentes factores bióticos y abióticos.

Quinta etapa: Posterior al momento ideal de recolección, el fruto se sobremadura tornándose de un color violeta oscuro y finalmente se seca. En esta etapa generalmente el fruto pierde peso (> 225 DDF).

(180 días) y en Venecia-Antioquia la mayor duración (330 días) (Arcila *et al.*, 2007; Jaramillo *et al.*, 2011) (Figura 29).

Desde el momento de la floración hasta la maduración, el desarrollo del fruto tarda entre 180 a 330 días en promedio, dependiendo de la variedad y de la oferta ambiental donde se encuentre el cultivo. Es así como en El Cocal-Santander, se presenta el período más corto

Estructura del fruto

El fruto tiene un **pedicelo** (Estructura que une el fruto con el tallo) que estructuralmente tiene la misma conformación del tallo. La parte del fruto del café

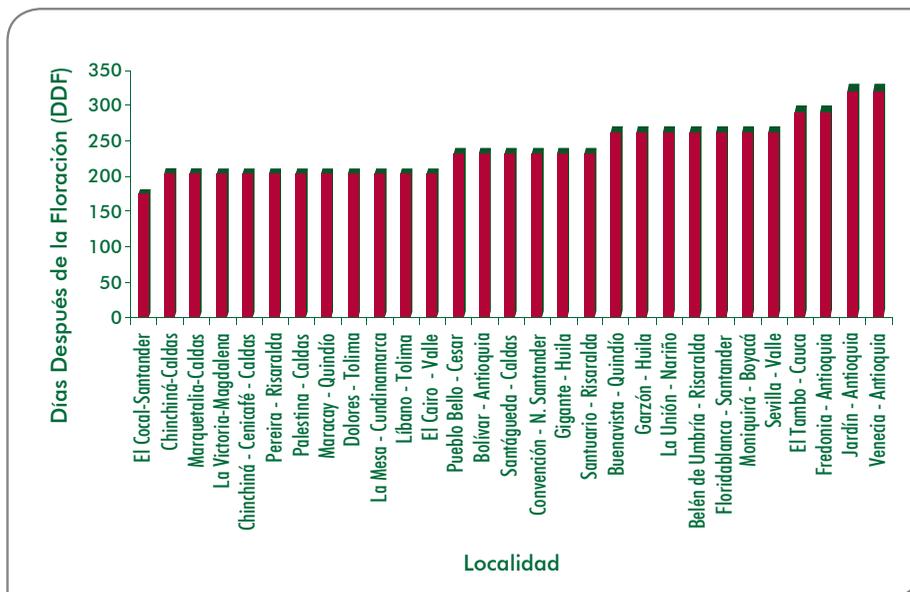


Figura 29.

Números de días entre la floración y la maduración del fruto de café, en diferentes zonas cafeteras de Colombia (Arcila y Jaramillo 2003).

conocida como **pulpa**, está formada por el **pericarpio**, el cual a su vez está conformado por el **exocarpio** o **epidermis** y el **mesocarpio** (Figura 30).

A medida que el fruto alcanza su madurez, el **pericarpio** sufre una serie de transformaciones químicas (Aumento del contenido de agua, azúcares y taninos) y estructurales (Alteraciones en la forma, tamaño, engrosamiento y lignificación de las paredes celulares). Con el aumento

de la lignificación de las paredes celulares ocurre una reducción gradual en el contenido de agua y azúcares (Federacafé, 2008). El **exocarpio** es una estructura con estomas, formado de una sola capa discontinua de células deformes, de paredes gruesas y cutinizadas. En el **mesocarpio** las capas más externas están formadas por células grandes, poligonales y de paredes lignificadas y gruesas, con vestigios de protoplastos en su interior. Entre las células del mesocarpio aparecen haces vasculares constituidos por fibras y traqueidas de paredes gruesas (Salazar *et al.*, 1994).

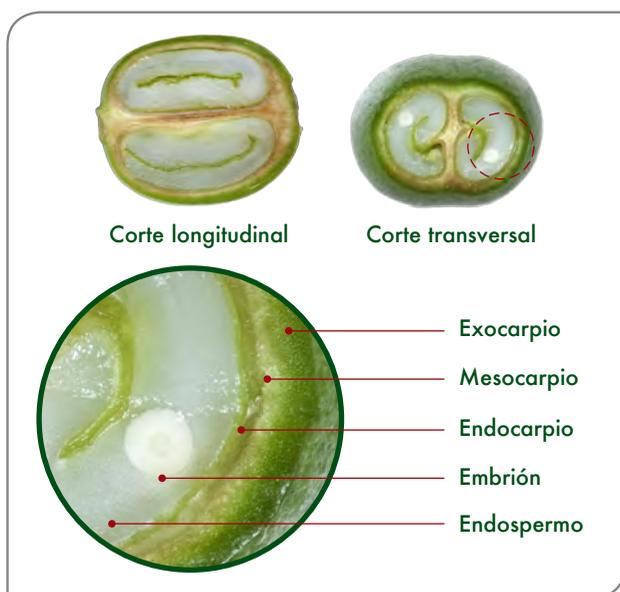


Figura 30.

Estructura del fruto del café.

En el fruto bien desarrollado, el **endocarpio** formará finalmente el **pergamino de la semilla**, el cual es blanco y de 0,1 mm de espesor, flexible y resistente (León y Fournier, 1962). El pergamino está formado por fibras de paredes gruesas, de lumen muy reducido, fusiformes, unidas compactamente entre sí, lo cual le confiere al endocarpio una gran resistencia (Federacafé, 2008).

El fruto es verde en sus primeras etapas de desarrollo, fundamentalmente por el contenido de clorofilas totales (Hasta 0,7 mg clorofila por gramo de peso fresco de pericarpio). La clorofila y los estomas del pericarpio hacen que el fruto sea fotosintéticamente funcional, así, el 30% de la materia seca de la semilla proviene de la actividad fotosintética del fruto (Cannell, 1971). En la variedad Caturra, el 33% de los asimilados almacenados en el grano provienen de la actividad fotosintética realizada en el pericarpio. A medida que el fruto alcanza su madurez, el contenido de clorofila total disminuye gradualmente hasta desaparecer en frutos de 30 semanas después de la floración (Ocampo 2003; Ocampo *et al.*, 2010). De manera contraria, el contenido de antocianinas, particularmente cianidina (Responsable del color rojo

del fruto) aumenta significativamente durante la cuarta etapa del desarrollo ($0,047 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco de pericarpio) (Salazar, 1993).

Composición química del fruto

Los azúcares sintetizados, tanto los enviados desde las hojas hacia los frutos, como los fabricados por la fotosíntesis del fruto, son fundamentales para su crecimiento y desarrollo. Al analizar la dinámica de los azúcares metabolizados en frutos entre 8 y 24 semanas después de la floración, se observa que la glucosa está presente en mayor medida durante el desarrollo del fruto, seguido por fructosa y sacarosa (Ortiz, 2003; Gómez, 2012) (Figura 31).

El fruto también presenta compuestos lipídicos tipo hidrocarburos y ácidos grasos libres, identificándose

en mayor cantidad los ácidos grasos libres, tipo ácido palmítico, oleico, linoleico y esteárico. Estos ácidos aportan energía al organismo y son imprescindibles para otras funciones como la absorción de vitaminas liposolubles, la síntesis de hormonas, pared celular y lipoproteínas de órganos internos. El comportamiento de los ácidos grasos totales (Sumatoria de los ácidos palmítico, oleico, linoleico y esteárico) está directamente relacionado con el desarrollo del fruto (Figura 32). La tasa de acumulación de ácidos grasos totales en frutos a partir de 196 DDF es menor, debido a que éste es maduro fisiológicamente y sus reservas son mínimas (Ortiz, 2003).

El pericarpio está compuesto en un 45% de ácidos grasos insaturados y un 55% de ácidos grasos saturados, siendo el compuesto α -Linoléico el más abundante y diferenciador entre la semilla y fruto completo (Ortiz, 2003).

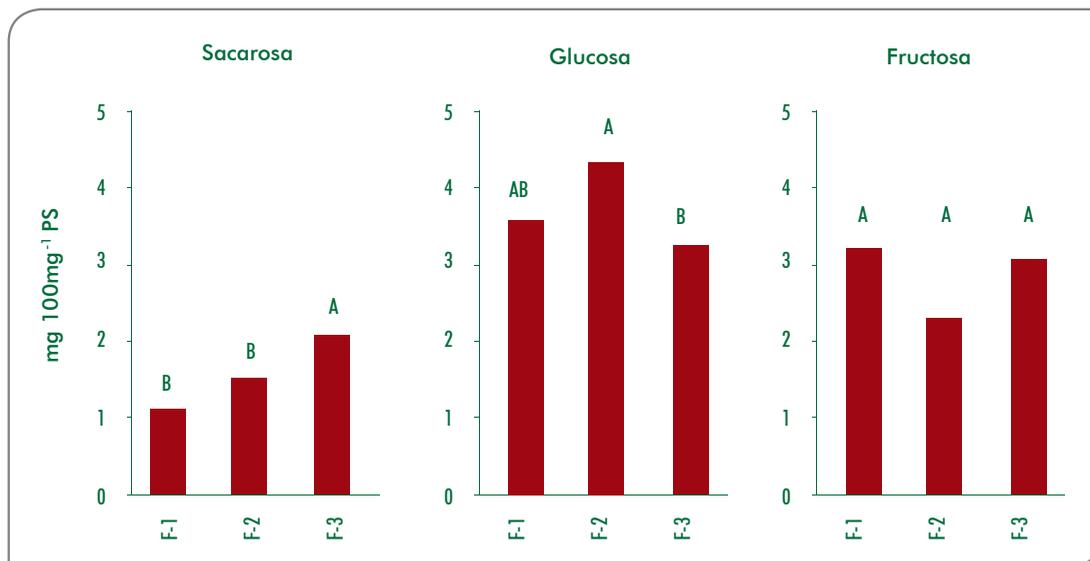


Figura 31.

Comportamiento de los azúcares en el desarrollo del fruto de café (Gómez, 2012).

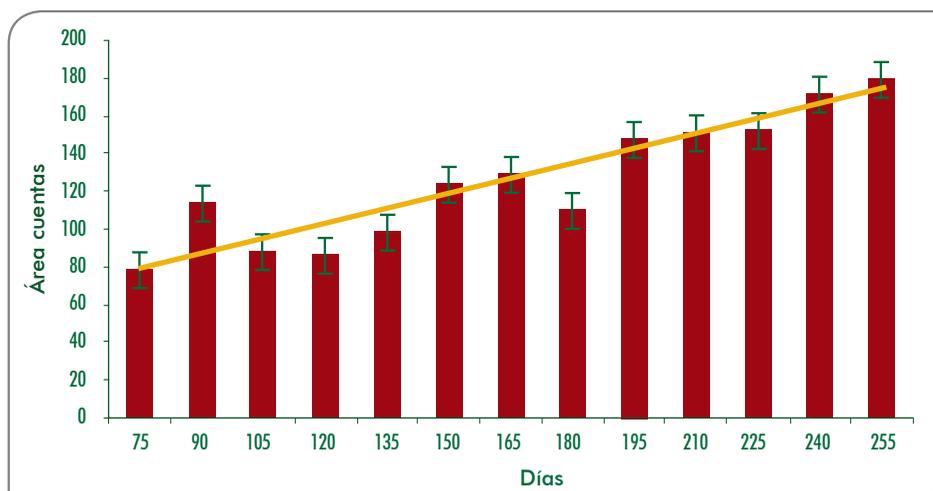


Figura 32.

Comportamiento de los ácidos grasos totales en el desarrollo del fruto de café (Ortiz, 2003).

La acidez titulable es menor en el estado verde (26 semanas después de la floración) que en los estados maduros (31 semanas después de la floración), siendo en este último cuatro veces mayor. Los sólidos solubles totales expresados como grados Brix se incrementan con el grado de madurez del fruto (Marín et al., 2003).

Los compuestos volátiles del fruto de café en diferentes estados fisiológicos de madurez están controlados por altos niveles de alcoholes, principalmente etanol (Ortiz et al., 2004). Exceptuando los alcoholes, los volátiles que están presentes en mayor proporción en el café cereza maduro (31 semanas después de la floración) son las cetonas, seguidos por los aldehídos, ésteres y furanos (Figura 33) (Ortiz et al., 2004).

Es importante conocer los compuestos volátiles del fruto de café en la medida en que éstos sirven como atrayentes de insectos plaga como la broca del cafeto, y para su utilización en mezcla como trampas para el control de este insecto.

Los aldehídos y cetonas son grupos de compuestos que se expresan más en estados avanzados de madurez del fruto, relacionados con el aroma y la calidad del café.

Factores que afectan el crecimiento del fruto

Existen numerosos factores bióticos y abióticos que influyen en el desarrollo normal del fruto, ocasionando diversos niveles de pérdida en la producción esperada del cultivo.

Entre los **factores bióticos** se destacan:

Broca del fruto del café: *Hypothenemus hampei*.

Los frutos empiezan a ser susceptibles al ataque entre las 17 y 21 semanas después de la floración (120 - 150 DDF) (Salazar et al., 1993; Ruiz, 1996).

Mancha de hierro. Los frutos son más susceptibles entre las semanas 16 y 18 después de la floración (112 - 126 DDF) (Leguizamón, 1997).

Mal rosado. Los frutos en las primeras etapas de formación (60 - 112 DDF) son los más susceptibles a la enfermedad (Galvis, 2002).

Enfermedad de las cerezas del café (CBD). Esta enfermedad es ocasionada por *Colletotrichum kahawae*, hongo que ocasiona graves daños en frutos de diferentes estados de desarrollo. En Colombia no hay presencia de esta enfermedad. Sin embargo, *Colletotrichum* spp, habitante natural de ramas, hojas y frutos de café, bajo condiciones ambientales favorables, tales como alta humedad y temperatura puede convertirse en patogénico y afectar los frutos –entre otros órganos del cafeto- (Gil, 2001).

Ojo de Gallo o gotera. Afecta a los frutos verdes (190 DDF), pintones (207 DDF) y maduros (232 DDF) (Rivillas y Castro, 2011).

Entre los **factores abióticos** se destaca el requerimiento hídrico del fruto, donde el índice de humedad del suelo (IHS) juega un papel primordial y su efecto varía de acuerdo con la etapa del desarrollo en que se encuentra.

- En la primera etapa se caracteriza por no influir la presencia o ausencia de lluvia, sin embargo, una deficiencia hídrica severa en esta etapa causa un

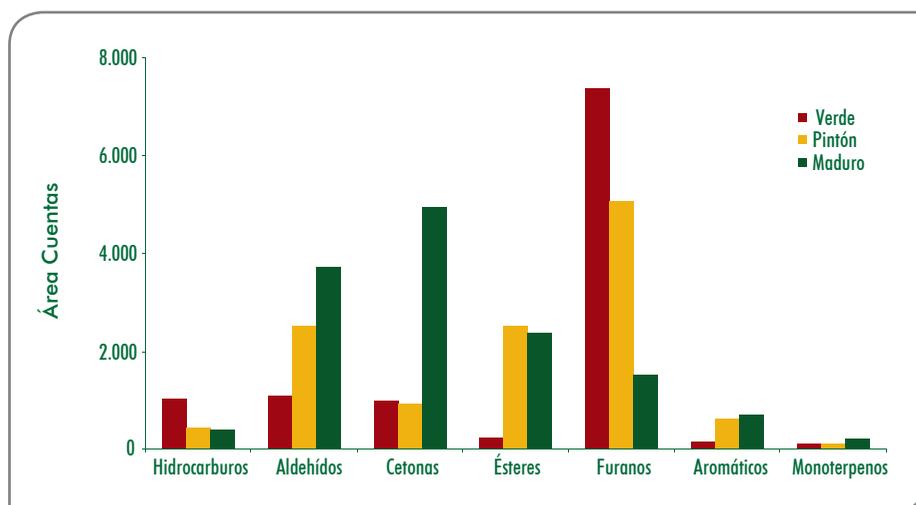


Figura 33.

Comportamiento de hidrocarburos, aldehídos, cetonas, ésteres, furanos, aromáticos y monoterpenos en tres estados de maduración.

secamiento de frutos tiernos (Figura 34d) (Valencia y Arcila, 1975; Arcila y Jaramillo, 2003).

- En la segunda y tercera etapas de desarrollo, una deficiencia hídrica, baja humedad relativa y grandes oscilaciones de temperatura, producen un desequilibrio bioquímico en la formación de carbohidratos en la planta, ocasionando los llamados granos negros (Valencia, 1972). Así mismo, puede tener diferentes efectos como son grano vacío (Flotantes), grano parcialmente formado (Figura 34b) y grano pequeño.
- En la cuarta etapa, la deficiencia hídrica no presenta efectos severos, ya que el fruto se encuentra completamente desarrollado. Sólo en casos extremos la maduración se retarda y ocurre el secamiento de la pulpa. En esta etapa se da la transformación de almidones en azúcares (Sacarosa, glucosa y fructosa) y cambio de color del fruto (Suárez, 1975; Arcila y Jaramillo, 2003).

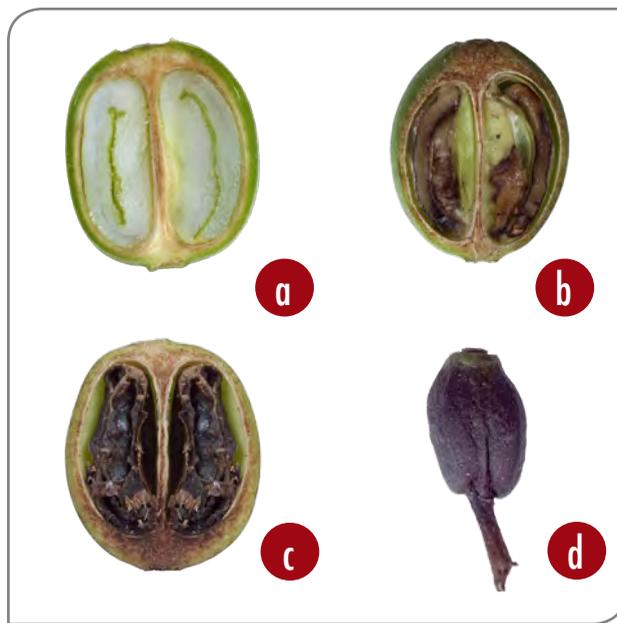


Figura 34.

Daños ocasionados al fruto por deficiencia hídrica:
a. Fruto normal; **b.** Fruto con llenado parcial; **c.** Grano negro;
d. Secamiento de frutos tiernos (Arcila y Jaramillo, 2003).

Consideraciones prácticas

Deficiencias hídricas entre las semanas 7 y 14 después de la floración impactarán el tamaño del fruto. Si el déficit hídrico ocurre entre las semanas 15 y 25 se producen granos vanos o defectuosos por insuficiente llenado de la almendra. Los excesos hídricos no tienen efecto particular sobre el crecimiento y desarrollo del fruto.

Si se recolectan frutos en diferentes estados de madurez se deteriora la calidad del café. La mejor calidad en taza se alcanza al recolectar los frutos maduros (217 DDF).

Pilares del metabolismo vegetal. Intercambio gaseoso: Fotosíntesis- respiración

La relación que mide la eficiencia del sistema a través del peso de los frutos producidos por la planta y el peso total de la misma, se conoce como Índice de Cosecha (IC). Éste se encuentra directamente relacionado con la productividad del cultivo, y se inicia en los procesos

de intercambio de gases (fotosíntesis, respiración, transpiración). Por ello, además de entender a profundidad estos procesos, es necesario comprender cómo se distribuyen los asimilados entre los órganos fuente (productor de fotoasimilados, como las hojas) y vertedero (consumidor de los fotoasimilados, como flores, frutos y raíces, entre otros).

Conceptos

- El proceso a través del cual a partir de CO_2 se fabrican azúcares y carbohidratos para el crecimiento y desarrollo de las plantas es la **“fotosíntesis”**. En la **“respiración”** se utiliza parte de los carbohidratos formados en el proceso fotosintético como sustrato para formar moléculas más simples. Tales procesos son el pilar fundamental del metabolismo vegetal (Azcon-Bieto y Talon, 1993).
- En la fotosíntesis las plantas utilizan la energía del sol, el agua y el CO_2 para liberar oxígeno al ambiente, y construir azúcares y otros compuestos carbonados que hacen parte del metabolismo. Este proceso responde en un 95% por la producción de biomasa que se distribuye en órganos de captación y transformación de energía (Hojas), soporte (Tallos, ramas y raíces) y en los órganos de interés económico (Frutos) (DaMatta y Rodríguez, 2005).

Fotosíntesis en hojas individuales y plantas completas de café

La **fotosíntesis** así como otros procesos relacionados con el intercambio gaseoso entre la planta y el ambiente (CO_2 , oxígeno y vapor de agua), son determinantes en la producción y productividad del cultivo del café.

Para entender cómo los procesos de **fotosíntesis**, **transpiración** y el **uso del agua**, son afectados por las variables climáticas, se realizaron estudios con las hojas individuales y con la fronda total de plantas de las variedades Caturra y Colombia. Las hojas que se encuentran más expuestas a la luz directa del sol, en días de alta radiación, no sólo disminuyen la fotosíntesis al medio día, sino que pueden llegar a respirar, mientras que las hojas del interior de la fronda continúan su proceso fotosintético adecuadamente (Figura 35) (López et al., 1999; Gómez et al., 2005). Por lo anterior, el balance del intercambio gaseoso de todo el follaje bajo elevadas condiciones de radiación solar, como sería el caso de cultivos a plena exposición es positivo, lo cual permite la acumulación de carbono en los tejidos, y el crecimiento y desarrollo de las plantas (Gómez, 2000).

Experimentos tanto para hojas individuales como para la planta completa, permitieron establecer que la radiación fotosintéticamente activa y la temperatura óptimas para el proceso fotosintético en las hojas de café son 300-600 $\mu\text{moles}_{(\text{fotones})} \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (al sol y a la sombra, respectivamente) y 25-27 °C (López et al., 1999; Gómez et al., 2005).

El sistema de medición de intercambio gaseoso diseñado por Cenicafé (Figura 36) permitió obtener información inicial que apuntó a calcular el balance de carbono para plantas completas de café (Gómez, 2000; Gómez y Riaño, 2001), lo que se tradujo en los primeros datos de captura de CO_2 por el cultivo del café en Colombia, a través del sistema *CREFT*® (Crecimiento y captura de CO_2 en especies forestales tropicales) (Riaño et al., 2005).

Agua y fotosíntesis en el café. El agua participa en todos los procesos del metabolismo vegetal, desde el suministro de electrones para la conversión de la energía luminosa en energía química, con liberación de oxígeno (fotosíntesis), hasta complicadas reacciones de regulación genética en la célula, lo que la hace igual de determinante en otros procesos como respiración, transpiración, absorción y transporte de nutrientes, y distribución de asimilados, entre otros.

Consideraciones prácticas

La fotosíntesis de una hoja es un buen indicador de la fotosíntesis de la planta completa de café, cuando se utilizan modelos matemáticos para escalar de la hoja a la planta entera (Gómez, 2000).

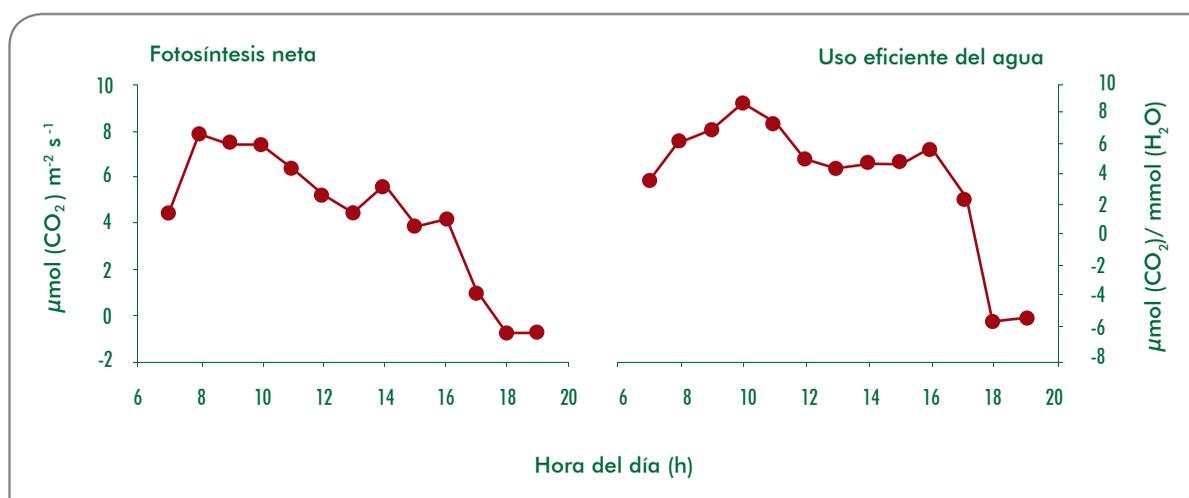


Figura 35.

Curvas diarias de fotosíntesis neta y uso eficiente del agua en hojas individuales de variedad Colombia en el campo (López et al., 1999).

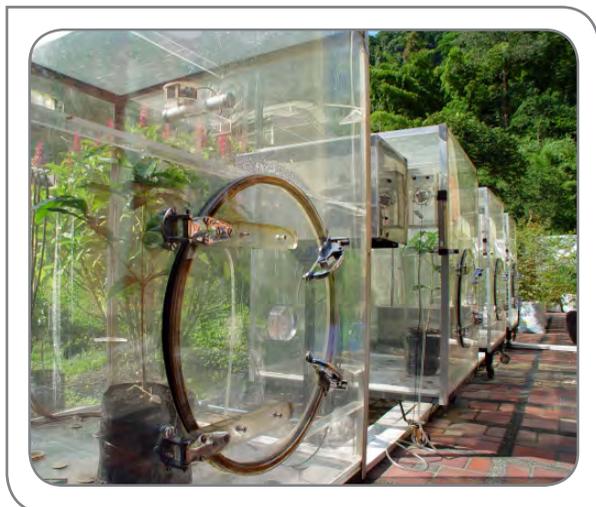


Figura 36.

Sistema para la medición de intercambio gaseoso diseñado por Cenicafé (Gómez y Riaño, 2001).

La respuesta fotosintética de plantas de café difiere dependiendo del nivel de humedad en el suelo. En estudios realizados en Chinchiná (Caldas), se determinó que la planta alcanza su máxima capacidad fotosintética en suelos al 32% de humedad volumétrica, mientras que a valores superiores o inferiores, la asimilación de CO_2 fue menor. Particularmente, para valores superiores al 45% o inferiores al 15% de humedad en el suelo, la planta interrumpe su proceso fotosintético, deteniendo su crecimiento y desarrollo (Figura 37). El punto de marchitez permanente o punto en el que la planta no se recupera por falta de agua y muere, está por debajo del 10% de humedad. En términos generales, se observó que la planta de café responde mejor a condiciones de déficit que a exceso de agua en el suelo (Cano, 2000; Gómez, 2000).

Igualmente, se observó que días secos, con baja humedad ambiental ($\pm 40\text{-}50\%$), acompañados de baja humedad en el suelo, afectan el potencial hídrico de la hoja y, por ende, el flujo de CO_2 y vapor de agua, entre ésta y el ambiente, lo que tiene incidencia en el crecimiento y acumulación de biomasa en la planta de café (Cano, 2000).

La cantidad de agua presente en el suelo entre capacidad de campo y saturación, que es donde los espacios porosos carecen de aire, afecta el movimiento del agua en la planta ante la ausencia de oxígeno, influyendo negativamente en el metabolismo bioquímico, siendo una de las razones por las cuales temporadas con precipitaciones superiores a las normales (Fenómeno de La Niña) afectan el cultivo (Cano, 2000).

Efecto de la altitud en el intercambio gaseoso. La zona cafetera colombiana está distribuida altitudinalmente entre los 1.000 y 2.000 m, con el mayor porcentaje de área sembrada (89%) por debajo de 1.800 m (SIC@, 2012)⁶.

Al evaluar el comportamiento del intercambio gaseoso de la hoja del café variedad Colombia, en tres altitudes: 1.100, 1.400 y 1.900 m, se observó que la oferta de radiación fotosintéticamente activa, la temperatura del aire y el déficit de presión de vapor favorecen una mayor fotosíntesis neta a 1.900 m.s.n.m ($5 \mu\text{mol}_{(\text{CO}_2)} \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$), comparada con la registrada a 1.400 y 1.100 ($4,5 \mu\text{mol}_{(\text{CO}_2)} \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y $4,1 \mu\text{mol}_{(\text{CO}_2)} \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ respectivamente) (López, 2004). Así, en días con radiación y temperaturas moderadas y déficit de presión de vapor bajo, las tasas de fotosíntesis son mayores.

Consideraciones prácticas

Si bien, se obtienen mejores tasas de asimilación a 1.900 m.s.n.m., se registran mayores producciones e índice de cosecha a menores altitudes (1.400 y 1.100 m), lo que significa que el mayor ingreso de CO_2 a la planta no garantiza una mayor producción o productividad, por lo que es necesario profundizar en el estudio de su distribución o relación fuente-vertedero.

Efecto del intercambio gaseoso en hojas y plantas bajo sombra. En Colombia, el café se cultiva tanto a plena exposición solar como bajo diferentes tipos y cantidades de cobertura arbórea, dependiendo de la zona. Es así como de las 920.000 hectáreas en café, cerca del 50% se cultiva bajo algún tipo de sombrío.

La fronda de los árboles afecta negativamente la cantidad y calidad de luz disponible para el cultivo (Farfán, 2007), incidiendo directamente en las tasas de fotosíntesis, respiración y transpiración, lo que influye en la cantidad, pero no en la calidad del café producido.

En hojas individuales jóvenes y maduras de café variedad Colombia, se encontró que niveles de sombrío hasta del 25% no afectan el comportamiento fotosintético.

⁶ Federación Nacional de Cafeteros. 2011. Sistema de Información Cafetera - FNC, SIC@.

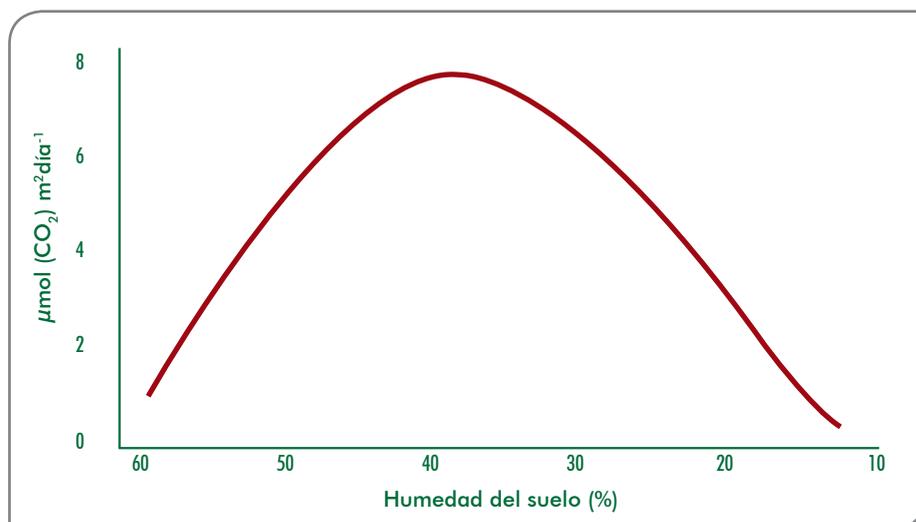


Figura 37.

Efecto de la humedad del suelo sobre la fotosíntesis en hojas individuales de plantas de variedad Colombia, de 11 meses de edad (Cano, 2000; Gómez, 2000).

Al incrementar el sombrío hasta niveles superiores al 30%, la fotosíntesis disminuyó, llegando con el 70% de sombrío a valores de fotosíntesis equivalentes al 60% de los obtenidos en cafetales a libre exposición (Tabla 3) (Cadavid et al., 1998).

En plantas completas de variedad Caturra de 12 meses de edad, se midió el intercambio gaseoso encontrando que hasta el 58% de sombrío la fotosíntesis fue similar a libre exposición solar, siendo éste el punto a partir del cual la fotosíntesis empieza a caer. Sobresalió el hecho que con niveles de sombrío del 58% la asimilación de CO₂ tuviera valores altos. Bajo esos niveles las condiciones de microclima en el interior del dosel pudieron favorecer el ingreso de CO₂ al aparato bioquímico y fotosintético, pues el café es originario de condiciones de semi-sombra, y el mutuo sombrío del follaje, así como el generado artificialmente, lo favorecieron (Gómez, 2005).

Las plantas a plena exposición solar mostraron mayor número de nudos, entrenudos más cortos y hojas más pequeñas que aquellas a la sombra. Una mayor temperatura incide en los procesos bioquímicos de la planta, y por lo tanto en la tasa de crecimiento y desarrollo. Bajo sombrío, la planta busca mayor captación

de luz, invirtiendo más energía en ese proceso, lo que se reflejó en entrenudos más largos y mayor lámina foliar, generando así un desbalance en la relación fuente-vertedero (Cadavid et al., 1998).

Efecto de la roya del café en el proceso de fotosíntesis.

La roya del café (*Hemileia vastatrix*) es un parásito obligado, es decir, que para sobrevivir debe permanecer en tejidos vivos, interfiriendo en los procesos relacionados con el flujo del carbono y, en consecuencia, afectando la producción. Las hojas, órganos donde se realiza el proceso fotosintético, son también los sitios de ataque del microorganismo y a través de los estomas, donde se intercambia CO₂ y H₂O con el ambiente, las estructuras del hongo penetran hasta llegar a las células y producir la infección (Arango, 2000).

La fotosíntesis es afectada negativamente en hojas y plantas completas de variedad Caturra infectadas por roya. Dichos efectos son mayores durante la penetración y esporulación del hongo y son directamente proporcionales a la magnitud del área foliar enferma. Esto significa que a mayor área atacada por el hongo, mayor daño al aparato fotosintético de la planta (Arango, 2000).

Sombrío (%)	RFA [$\mu\text{mol}_{\text{(fotones)}} \text{m}^{-2}\text{día}^{-1}$]	Fotosíntesis mol(CO ₂)m ⁻² día ⁻¹	Reducción fotosintética (%)
0	8.551	35,8	0
25	6.413	30,7	14,2
48	4.446	21,9	38,9
69	2.651	21,7	39,4

Tabla 3.

Radiación fotosintéticamente activa (RFA), fotosíntesis diaria y porcentaje de reducción fotosintética, en respuesta a diferentes niveles de sombrío (Cadavid et al., 1998).

Si la severidad del ataque del hongo es superior al 25%, las tasas fotosintética y respiratoria son afectadas drásticamente, generando un desbalance en la distribución de asimilados y en la acumulación de biomasa, y además, el contenido de clorofila (Molécula encargada de dar inicio al proceso fotosintético) en los tejidos enfermos, se reduce notablemente (Arango, 2000).

Consideraciones prácticas

La productividad de la planta de café bajo sombra depende tanto de la actividad fotosintética como de la capacidad de interceptación de la luz, ligada a cambios en la arquitectura del dosel, así como en el nivel de sombrero (Cadavid et al., 1998). Sin embargo, aún quedan muchos interrogantes por resolver sobre el sombrero y la respuesta fisiológica de las plantas de café.

Al progresar la enfermedad, la actividad de las enzimas Rubisco, PEP-C y Sacarosa Sintetasa y compuestos como el fósforo inorgánico, claves en el proceso fotosintético, disminuyen. Así mismo, la planta gasta energía en la reconstrucción de las membranas y paredes celulares afectadas, a través de la síntesis elevada y anormal de fosfolípidos (Arango, 2000).

Fotosíntesis en frutos

En diferentes especies vegetales se determinó que hasta un 30% del crecimiento y acumulación de materia seca en los frutos, depende del proceso fotosintético de los mismos (Berishvili y Berishvili, 1996; Sweetman et al., 2009). Durante la mayor parte del desarrollo del fruto de café se observan los organelos necesarios para realizar el proceso fotosintético (Estomas, cloroplastos y clorofilas, principalmente) (Mosquera et al., 1997), así como las enzimas fundamentales para el proceso fotosintético como son la Rubisco y la PEP-C, cuya presencia simultánea ha sido reportada en diferentes especies (Sweetman et al., 2009). La Rubisco es característica de especies C_3 y la PEP-C de especies C_4 , siendo la última más eficiente fotosintéticamente.

Al evaluar diversos materiales de la Colección Colombiana de Café (CCC) se observó que la actividad fotosintética de los frutos fue mayor en los primeros estados de

desarrollo, y disminuyó paulatinamente a la medida que éstos se acercaron a la maduración (26- 28 semanas después de antesis). Es en este momento cuando las concentraciones de clorofila, proteína y actividad de Rubisco disminuyen (López et al., 2000) y hay síntesis de antocianinas y carotenoides, propios de la madurez (Ocampo, 2003; Ocampo et al., 2010). Además, los frutos jóvenes, entre 10-16 semanas después de antesis, presentaron altas tasas respiratorias (López et al., 2000).

Se determinó que mientras en los frutos la actividad de PEP-C fue ligeramente superior que la de Rubisco, en las hojas el comportamiento fue opuesto (López et al., 2000).

Al hacer evaluaciones utilizando cámaras de intercambio gaseoso (Ocampo et al., 2010), se encontró que aproximadamente el 33% de los fotoasimilados almacenados provienen de la fotosíntesis realizada por los tejidos del pericarpio del fruto (Ocampo, 2003; Ocampo et al., 2010).

Factores propios del proceso fotosintético que afectan la productividad del café: Fotorrespiración

En los vegetales existen factores propios del proceso evolutivo en los que aún no se han dilucidado completamente sus mecanismos fisiológicos y bioquímicos, pero donde hay avances al entender cómo afectan la productividad. Paralelo a la fotosíntesis, ocurren dos procesos adicionales: **Respiración y fotorrespiración**.

La respiración es fundamental, libera parte de la energía almacenada en los carbohidratos producidos durante la fotosíntesis, para regular los procesos de mantenimiento y crecimiento del vegetal. Por su parte, **la fotorrespiración** es considerada un proceso que compite con la fijación de CO_2 , ya que opera durante el día y es poco conveniente para la planta, por limitar en un 50% la fotosíntesis, liberando parte del CO_2 al ambiente y disminuyendo la acumulación de materia seca, con consecuencias directas sobre la productividad. Este proceso es afectado principalmente por la temperatura, es decir, a mayor temperatura mayor pérdida de CO_2 por fotorrespiración (Peterhansel y Maurino, 2011).

Al evaluar las variedades Colombia, Caturra e Híbrido de Timor, bajo diferentes temperaturas de 15, 25 y 35 °C, se encontró que mientras la fotorrespiración fue superior en plantas establecidas a 35 °C, los valores más altos de fotosíntesis se encontraron a los 25 °C (Mosquera, 1995).

Consideraciones prácticas

Frente a la variabilidad y el cambio climático los resultados experimentales permiten sugerir que bajo temperaturas elevadas, uno de los procesos que afectan el crecimiento y la producción es la fotorespiración. Por lo tanto, la identificación de materiales dentro de la Colección Colombiana de Café de Cenicafé, que posean menores tasas fotorespiratorias podrían ayudar a minimizar el efecto sobre la acumulación de biomasa y distribución de asimilados.

Fotosíntesis e incremento de CO₂ en el ambiente

El CO₂ atmosférico es la principal fuente de carbono para la producción vegetal, ya que a partir de él las plantas fabrican los carbohidratos necesarios para su crecimiento, mediante el proceso de fotosíntesis. Al mismo tiempo, el CO₂ junto con otros gases de efecto invernadero, como el metano y el óxido nitroso, son los responsables del calentamiento global (Kimball et al., 1993; Drake y González, 1997).

Se ha demostrado que la mayor presencia de este gas en la atmósfera [390 ppm de CO₂ en la actualidad] (Poorter et al., 2012) afecta el proceso de intercambio gaseoso en plantas con metabolismo C₃, fundamentalmente por la disminución de la fotorespiración, lo que favorece la acumulación de biomasa en los diferentes tejidos. Mayores concentraciones de CO₂ ocasionan aumentos hasta del 20% en la producción de materia seca y el rendimiento de las cosechas en cultivos de plantas con este tipo de metabolismo (Drake y González, 1997; Kimball et al., 1993).

Al someter plantas de *C. arabica* variedad Caturra, de 6 meses, a diferentes concentraciones de CO₂, bajo ambientes confinados, se encontraron diferencias a favor de las plantas sometidas a atmósferas enriquecidas con CO₂ (775 ppm), con respecto a las plantas control (375 ppm). Al analizar el comportamiento de la enzima Rubisco, se observó una mayor actividad carboxilasa, trayendo como consecuencia una menor actividad del proceso fotorespiratorio. En términos de crecimiento, durante las primeras etapas se observó un efecto positivo en las plantas sometidas a la mayor concentración de CO₂, sin

embargo, dicho efecto se diluyó y finalmente las plantas no mostraron diferencias con respecto al control. Esto significa que el efecto positivo inicial no favorece a largo plazo la acumulación de biomasa, proceso denominado “aclimatación” (Ramírez et al., 2005).

Fotosíntesis y relación fuente-vertedero

Por su condición autótrofa, en la cual las plantas fabrican su propio alimento en las hojas, los metabolitos producidos en exceso son exportados a los órganos restantes, que actúan como vertederos o sitios de acumulación. Una exportación rápida y eficaz permite mantener una elevada tasa de fotosíntesis en las hojas, la cual se determina fundamentalmente por la fuerza del vertedero (Herold, 1980; Wardlaw, 1980; Gifford y Evans, 1981; Guardiola y García, 1990).

En especies perennes, como el cafeto, los frutos son los principales órganos vertederos de carbohidratos y compiten con los puntos de crecimiento y la acumulación de reservas en la raíz, tallos y hojas (Figura 38). Esto se confirma con la eliminación de estructuras reproductivas que provoca un aumento del desarrollo vegetativo de la planta y una reducción de la tasa fotosintética (Herold, 1980; Wardlaw, 1980; Gifford y Evans, 1981; Guardiola y García, 1990).

Metabolismo fotosintético y eficiencia en el uso del carbono en Variedad Castillo®. En hojas y plantas de *C. arabica* Variedad Castillo® El Rosario, en diferentes estados de desarrollo, se determinó que las hojas de mayor edad (Nudos 5-6), que presentan bajas tasas fotosintéticas, requieren fotoasimilados provenientes de hojas de menor desarrollo (Nudo 3). Así mismo, las hojas más jóvenes de la rama (Nudos 1-2), requieren para su mantenimiento y desarrollo CO₂ proveniente no sólo del proceso fotosintético, sino también de hojas de mayor desarrollo (Nudo 3) (Gómez, 2012). Las hojas jóvenes son, por lo tanto, altamente dependientes de los carbohidratos exportados desde otras hojas, e incluso desde ramas adyacentes (Figura 38).

La temperatura juega un papel crucial en el metabolismo vegetal. Valores inferiores o superiores al óptimo traen como consecuencia la pérdida de potencial productivo. En estudios realizados en cafetos de la Variedad Castillo El Rosario®, en diferentes temperaturas (15, 25 y 35 °C) se observó que con valores medios de temperatura (25 °C) la planta realiza una fotosíntesis neta positiva (fotosíntesis menos respiración). Sin embargo, altas temperaturas (35 °C) generan altas exigencias energéticas en el cafeto, por lo que se ocasionan altas tasas respiratorias y muy bajas fotosintéticas, que inciden en el movimiento de los carbohidratos entre órganos. Así mismo, a los 15 °C se obtuvo una fotosíntesis neta negativa, aunque los valores

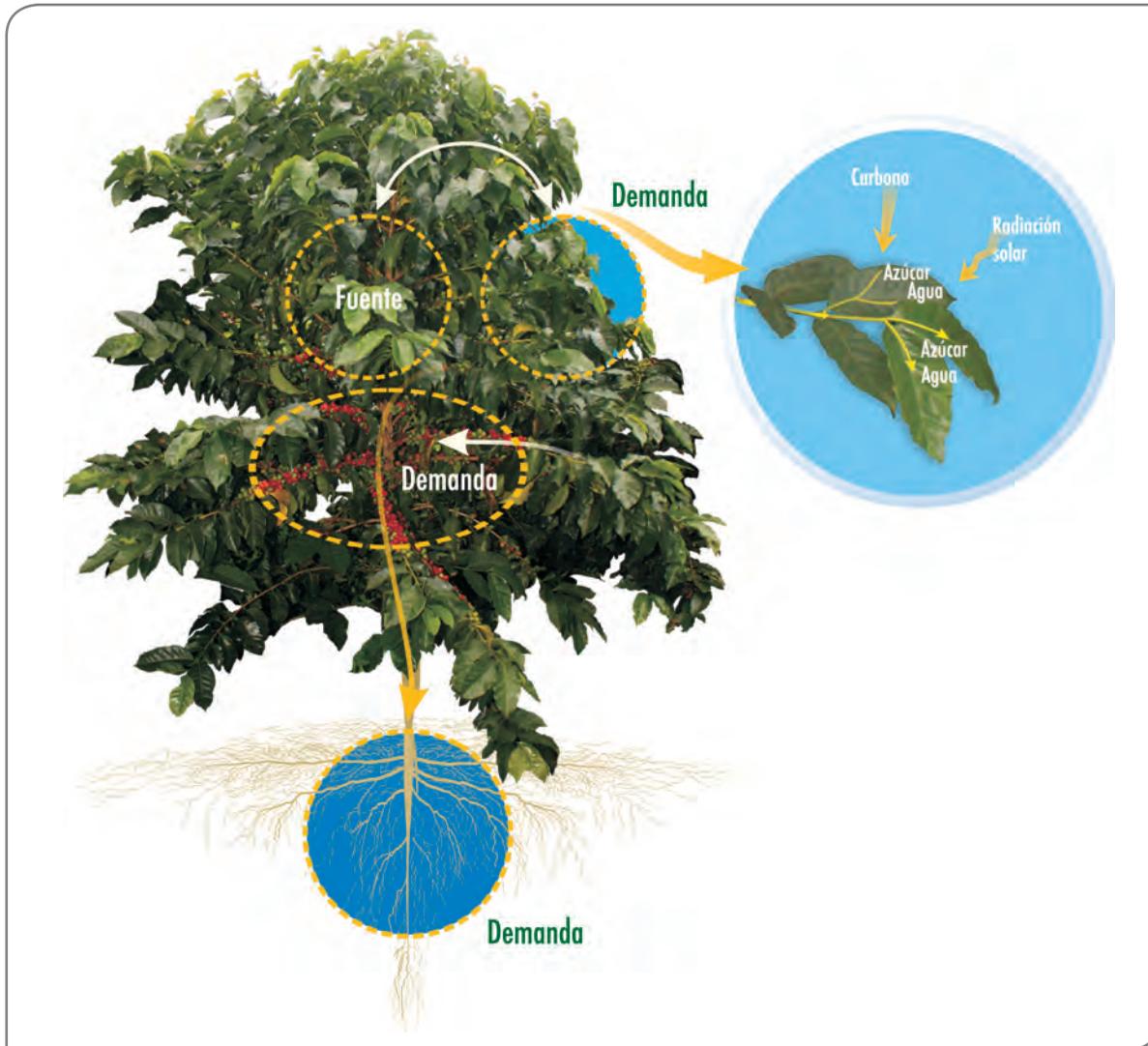


Figura 38.

Distribución de fotoasimilados en la planta de café.

de fotosíntesis máxima fueron los más altos, soportando los resultados de diversos trabajos donde se encontró que temperaturas similares en el campo generaron elevadas tasas de asimilación de CO_2 en café (Gómez, 2012).

A través de la marcación con ^{13}C de las plantas de café de 6 a 8 meses de edad, se evidenció cómo los metabolitos contenidos en las hojas con el paso del tiempo se exportaron hacia los tallos y raíces (Relación fuente-vertedero). Así mismo, se observaron diferentes respuestas de los almidones de acuerdo con la temperatura. Es así como a los 15°C los almidones demostraron menores necesidades energéticas, acumulándose en los cloroplastos, mientras a los 35°C , por efecto de un metabolismo más dinámico, las

hexosas y triosas fosfato son dirigidas hacia la síntesis de azúcares, para ser rápidamente enviadas a los tallos y raíces, mientras que a los 25°C su comportamiento fue regulado, de tal forma que hubo degradación de almidón, tanto de reserva como del recientemente sintetizado (Gómez, 2012), comportamiento que ha sido reportado en otras especies perennes como las forestales (Lambers *et al.*, 1998).

Cuando la planta pasa a una etapa reproductiva la relación fuente-vertedero cambia, de tal forma que los órganos demandantes (Frutos) tienen mayor capacidad de extraer los metabolitos en comparación con otros órganos como tallos y raíces. En esta etapa se observó la exportación de compuestos desde las hojas hacia los frutos. Aquellos frutos de mayor desarrollo presentaron

las mayores proporciones de almidones, proteínas y celulosa. Los azúcares totales no presentaron diferencias en concentración entre frutos de diferentes edades, lo

que muestra la importancia de éstos en todas las etapas de su crecimiento, y más aún, en el balance general de producción total de la planta.

Recomendaciones prácticas

- Las hojas son los sensores del ambiente para las plantas, y de su ángulo de inserción en la rama depende la cantidad de luz que capturan. En otras palabras, árboles cuyas hojas tengan un mayor ángulo de inserción tendrán acceso a una mayor cantidad de luz o de energía para su crecimiento y desarrollo.
- La arquitectura de la planta determina su arreglo espacial en el campo o densidad de siembra.
- La variación en la distribución de los ángulos de inserción del follaje es una característica importante que permite seleccionar genotipos que tengan una mejor adaptación frente a diferentes niveles exposición solar.
- Una distribución de la luz más uniforme en el dosel representa una mayor eficiencia fotosintética.
- Recuerde la importancia de tener hojas sanas y vigorosas en el cultivo de café ya que de éstas depende en gran parte la calidad y cantidad de la cosecha. Estas estructuras actúan como fábricas productoras de carbohidratos, que sirven para la formación de los demás órganos de la planta, incluyendo el fruto.
- El manejo de la densidad del cultivo y su distribución sobre la superficie del terreno hacen posible una mejor asimilación de CO_2 , debido al mejor aprovechamiento de la luz solar. Recuerde que un IAF óptimo se alcanza en menos tiempo con mayores densidades de siembra.
- El área foliar de la Variedad Castillo® es mayor que en la variedad Colombia y la variedad Caturra. Para lograr una excelente producción se debe realizar un adecuado manejo de la fertilización.
- Condiciones de alta humedad relativa y alta temperatura media del aire se relacionan con daños en las estructuras florales, tales como “flor estrella” y pudrición de botones florales.
- Es muy importante favorecer la formación del núcleo del follaje del árbol, puesto que de éste depende el éxito de la próxima floración y cosecha.
- Después de 120 días de la floración comienza el período crítico o de mayor susceptibilidad del cultivo frente a la broca del café. Programe sus labores para prevenir los daños ocasionados por este insecto plaga.

Literatura citada

- ALVARADO, G.; MORENO, G. *Cómo se distribuye anualmente la cosecha de las variedades Caturra y Colombia? Chinchiná: CENICAFE, 1999. 4 p. (Avances Técnicos No. 260).*
- ALVARADO A., G.; OCHOA F., H.E. *Características fenotípicas de componentes de la variedad Castillo en dos ambientes. Cenicafé 57(82):100-121. 2006.*
- ARCILA P., J. *Fisiología del desarrollo foliar del café. p. 56-57. En: FNC. Informe anual de labores 1984-1985. Chinchiná (Colombia): CENICAFÉ, Septiembre de 1985. 85p*
- ARCILA P., J.; VALENCIA, A.G. *Observación del promedio de vida de las hojas de C. arabica. p. 33-34. En: FNC. Informe anual de labores 1975-1976. Chinchiná (Colombia): CENICAFÉ, 44p.*
- ARCILA P., J. *Productividad potencial del café en Colombia. p. 105-119. En: CENICAFÉ. 50 años de Cenicafé 1938-1988: Conferencias conmemorativas. Chinchiná: CENICAFÉ, 1990. p. 105-119.*
- ARCILA P., J. *Factores que limitan el desarrollo de las raíces del café. Chinchiná: CENICAFÉ, 1992. 8 p. (Avances Técnicos No. 176).*
- ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; BALDIÓN R., V.; BUSTILLO P., A. *La floración del café y su relación con el control de la broca. Chinchiná: CENICAFÉ, 1993. 6 p. (Avances Técnicos No. 193).*
- ARCILA P., J.; CHÁVEZ C., B. *Desarrollo foliar del café en tres densidades de siembra. Cenicafé 46(1):5-20. 1995.*
- ARCILA P., J.; BUHR, L.; BLEIHOLDER, H.; HACK, H.; WICKE, H. *Aplicación de la escala BBCH ampliada para la descripción de fases fenológicas del desarrollo de la planta de café Coffea sp. Chinchiná: CENICAFÉ, 2001. 31 p. (Boletín Técnico No. 23).*
- ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A. *Relación entre la humedad del suelo y la floración y el desarrollo del fruto del café. Chinchiná: CENICAFÉ, 2003. 6 p. (Avances Técnicos No. 311).*
- ARCILA P., J. *Anormalidades en la floración del café. Chinchiná: CENICAFÉ, 2004. 8 p. (Avances Técnicos No. 320).*
- ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.; MORENO B., A.M.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. *Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná: CENICAFÉ, 2007. 309 p.*
- ASCANIO E.C.E. *Biología del café. Caracas: Universidad central de Venezuela, 1994. 308 p.*
- BACCHI, O. *Seca da semente de café aosol. Bragantia 14(22):225-236. 1955.*
- BARROS, R.S.; MAESTRI, M.; COONS, M.P. *The physiology of flowering in coffee: A review. Journal of coffee research 8(2-3):29-73. 1978.*
- CABEZAS M.; CORCHUELO, G. *Estimación de la interceptación de la radiación sola en papa criolla (Solanum phureja Juz.et BUK) en tres localidades colombianas. Agronomía colombiana 23(1):62-73. 2005.*
- CADAVID G., A.M.; RIAÑO H., N.M. *Fotosíntesis, arquitectura y producción de plantas de café Coffea arabica L. c.v. Colombia, bajo diferentes intensidades lumínicas. Santa Marta: Congreso de la sociedad colombiana de control de malezas y fisiología vegetal, 1998. 33p.*
- CAMAYO V., G.C. *Estudio anatómico y fisiológico de la diferenciación y desarrollo de las flores del café Coffea arabica L. var. Caturra. Popayán: Universidad del Cauca, 1995. 164 p. Tesis: Licenciada en biología.*
- CAMAYO, G.C.; ARCILA P., J. *Estudio anatómico y morfológico de la diferenciación y desarrollo de las flores del café Coffea arabica L. variedad Colombia. Cenicafé 47(3):121-139. 1996.*
- CAMAYO, G.C.; CHÁVEZ C., B.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A. *Desarrollo floral del café y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná, Caldas. Cenicafé 54(1):35-49. 2003.*
- CANNELL, M.G.R. *Effects of fruiting, defoliation and ring-barking on the accumulation and distribution of dry matter in branches of Coffea Arabica L. in Kenya. Experimental agriculture 7(01):63-74. 1971.*
- CANNELL, M.G.R. *Photoperiodic response of mature trees of arabica coffee. Turrialba 22(2):198-206. 1972.*
- CASTILLO, J.; MORENO, G. *La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del café. Chinchiná: CENICAFÉ, 1986. 171 p.*

- CASTILLO, J.; LÓPEZ, R. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del cafeto. *Cenicafé* 17(2):51-60. 1966.
- CASTILLO R., M.E. Interceptación de la radiación solar en cafetales. Santa Fe de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de agronomía, 1995. 107 p. Tesis: Magíster en Fitotecnia en el Área de Fisiología de Cultivos.
- CASTILLO R., M.E.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; SANABRIA R., J. Estructura del dosel e interceptación de la radiación solar en la planta de café *Coffea arabica* L. *Cenicafé* 47(1):5-15. 1996.
- CASTILLO R., M.E.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; SANABRIA R., J. Interceptación de la radiación fotosintéticamente activa y su relación con el área foliar del *Coffea arabica* L. *Cenicafé* 48(3):182-194. 1997.
- CASTILLO Z., J. Seleccione la semilla grande de café para las siembras. *Revista cafetera de Colombia* 19(146):60-68. 1970.
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del cafeto. Chinchiná: CENICAFÉ, 1988. 171 p.
- CHAPARRO, A.P.; CRISTANCHO, M.A., CORTINA, H.A.; GAITÁN, A.L. Genetic variability of *Coffea arabica* L accessions from Ethiopia evaluated with RAPDs. *Genetic Resources and Crop Evolution* (51):291-297. 2004.
- CHAPARRO C., M.C.; ROJAS A., J.M.; GÓMEZ P., C.R.; ARISTIZABAL V., G.E.; CORTINA G., H.A.; POSADA S., H.E.; ARCILA P., J.; MEJÍA M., C.G.; CÁRDENAS L., J. Guía para la implementación del protocolo producción de semillas de café variedad Castillo® y sus compuestos regionales en fincas de caficultores. Chinchiná: CENICAFÉ, 2012. 48 p.
- CUYA M., O.; LOMBARDI I., I. Influencia del tamaño de semilla en la germinación y crecimiento de plántulas de *Schinus molle*. *Revista forestal del Perú* 18(2): 17-27.1991.
- DRINNAN, J.E. The control of floral development in coffee *Coffea arabica* L. Queensland: University of Queensland. Department of botany, 1992. 157 p. Thesis: Doctor of philosophy.
- FAIGUENBAUM M, H.; ROMERO A., L. Efecto del tamaño de semilla sobre la germinación, el vigor y el rendimiento en un híbrido de maíz (*Zea mays*). *Ciencia e investigación agraria* 18(3):111-117. 1991.
- FRANCO, C.M. Fotoperiodismo em cafeeiro *C. arabica* L. Instituto de café do estado de Sao Paulo 27(164):1586-1592. 1940.
- FRANCO, C.; ALVARENGA, G. Maturação fisiológica da semente do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv Mundo novo). *Ciencia e Prática* 5(81):48-54. 1981.
- FREE, J.B. Insect pollination of crops. 2nd ed. Cardiff: Harcourt Brace Jovanovich, 1993. 684p.
- GALVIS G. C., A. El mal rosado del cafeto. Chinchiná: CENICAFE, 2002. 8 p. (Avances Técnicos No. 299).
- GIL, V. L., F. Descripción de daños ocasionados por *Colletotrichum* sp. en flores y frutos de café en Colombia. Chinchiná: CENICAFE, 2001. 4 p. (Avances Técnicos No. 288).
- GARDNER, F.P.; BRENT P., R.; MITCHEL, R.L. Carbon fixation by crop canopies. p. 31-57. En: *PHYSIOLOGY of crop plants*. Iowa: Iowa state university press, 1985. p 28
- GARZÓN F., S.; FERNÁNDEZ Q., A.; ROA M., G.; ARCILA P., J. Evaluación de la calidad de la semilla durante su beneficio. *Cenicafé* 41(3):69-79. 1990.
- GÓMEZ L., F. Informe anual de actividades 2010. Chinchiná (Colombia): CENICAFÉ, 2010. 168 p.
- GÓMEZ, G. L., F. Metabolismo del carbono y relación fuente demanda en el cafeto (*Coffea arabica* L.). Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, área agraria, 2012. 208 p. Tesis: Doctor en Ciencias.
- HOU G., V.L.; KRAMER, Y.S.; WANG, R.; CHEN, G.; PERBAL, S.; GILROY EB B. The promotion of gravitropism in *Arabidopsis* roots upon actin disruption is coupled with the extended alkalization of the columella cytoplasm and a persistent lateral auxin gradient. *Plant journal* 39(1):113-125. 2004.
- JARAMILLO R., A.; VALENCIA A., G. Los elementos climáticos y el desarrollo de *C. arabica* L. en Chinchiná (Colombia). *Cenicafé* 31(3):86-104. 1980.
- JARAMILLO R., A.; GUZMÁN M., O. Relación entre la temperatura y el crecimiento en *Coffea arabica* L., variedad Caturra. *Cenicafé* 35:57-65. 1984.
- JARAMILLO R., A. Clima andino y el café en Colombia. Chinchiná: CENICAFÉ, 2005. 196 p.

- JARAMILLO R., A.; RAMÍREZ B., V.H.; ARCILA P., J. Distribución de la lluvia: clave para planificar labores en el cultivo del café en Colombia. Chinchiná: CENICAFE, 2011. 8 p. (Avances Técnicos No. 411).
- JARAMILLO, A. Efecto de las abejas silvestres en la polinización del café (*Coffea arabica*: Rubiaceae) en tres sistemas de producción en el departamento de Antioquia. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, 2012. 82 p. Tesis: Maestría en Entomología.
- KLEIN, A.M., STEFFAN D., I., TSCHARNTKE, T. Beepollination and fruit set of *Coffea arabica* and *C. canephora* (Rubiaceae). *American Journal Botánica* 90(1):153-157. 2003.
- LEGUIZAMÓN, C. J., E. La mancha de hierro del café. Chinchiná: CENICAFE, 1997. 8 p. (Avances Técnicos No. 246).
- LEON, J.; FOURNIER, L. Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica* L. *Turrialba* 12(2):65-73. 1962.
- LÓPEZ R., J.C. Informe anual de labores: Disciplina de fisiología vegetal. Chinchiná: CENICAFÉ, 2004. 30 p.
- LÓPEZ A., R. Observación sobre granos anormales de café y su ocurrencia en diferentes sitios de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 18(3):77-88. 1967.
- LÓPEZ R., J.C. Informe final del proyecto eficiencia en la utilización del nitrógeno por el café (*Coffea arabica* L.). Chinchiná: Federación Nacional de Cafeteros, 2012. 36 p.
- MARÍN L., S.M.; ARCILA, P. J.; MONTOYA R., E.C.; OLIVEROS T., C. Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia). *Cenicafé* 54(3):208-225. 2003.
- MONCADA, M.P.; MCCOUCH, S. Simple sequence repeat diversity in diploid and tetraploid coffee species. *Genome* (47):501-509. 2004.
- MONROIG, M.F. Ecos del café: Morfología del café. [En línea]. Mayagüez: Universidad de Puerto Rico, 2012. En: <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id53.htm>. Consultado el 1 marzo de 2012.
- MEJÍA M., J.W. Arquitectura, interceptación de la radiación e intercambio gaseoso en introducciones de café. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2006. 94p. Tesis: Maestría en Ciencias Agrarias.
- NUTMAN F.J. The root system of *Coffea arabica* L.: Root system in typical soil in British east Africa. *Journal of experimental agriculture* (1):271-284. 1993.
- OCAMPO A., D.M. Fotosíntesis y cambios en la composición del pericarpio durante el desarrollo del fruto del café *Coffea arabica* L. cv Caturra. Manizales: Universidad de Caldas, 2003. 62p.
- OCAMPO A., D.M.; RIAÑO H., N.M.; LÓPEZ R., J.C.; LÓPEZ F., Y. Intercambio de dióxido de carbono y cambios bioquímicos en el pericarpio durante el desarrollo del fruto del café. *Cenicafé* 61(4):327-343. 2010.
- OLIVEIRA G., D.F.; RODRÍGUEZ, W.; MEZA DM, D. Grau da umidade de e temperatura na conservação de sementes de café. *Bragantia* 60(1):53-64, 2001.
- OROZCO G., L. Funciones de producción de café. Santa Marta: Sociedad internacional de biometría, para Centro América, Caribe, Colombia y Venezuela, 1995. p.11-15.
- ORTIZ, A. Cambios químicos del fruto asociados con su crecimiento: Informe anual de labores de la sección de fisiología vegetal 2003-2004. Chinchiná (Colombia): CENICAFÉ, Octubre 22 de 2004. 118p.
- ORTIZ A.; VEGA, F. E.; POSADA, F. Volatile composition of coffee berries at different stages of ripeness and their possible attraction to the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera:Curculionidae). *Journal of agricultural and food chemistry* 52(19):5914-5918. 2004.
- OSORIO B., CASTILLO Z., J. Influencia del tamaño de la semilla en el crecimiento de las plántulas de café. *Cenicafé* (20):20-40. 1969.
- PEÑA Q., A.J.; RAMÍREZ B., V.H., JARAMILLO R., A.; RENDÓN S., J.R.; ARCILA P., J. Effects of daylength and soil humidity on the flowering of coffee *Coffea arabica* L. in Colombia. *Revista Agronomía de la Facultad Nacional de Medellín* 64(1):5745-5754. 2011.
- PIRINGER, A.A.; BORTHWICK, H.A. Photoperiodic response of coffee. *Turrialba* 5(3):72-77. 1955.
- POISSON, J. Aspects chimiques et biologiques de la composition du café vert. p. 33-57. En: COLLOQUE Scientifique international sur le café (8 : November 28- December 3 : Abidjan). Paris : ASIC, 1977. p. 33-57.
- RAMÍREZ, V.H.; JARAMILLO, A.; ARCILA, J. Índices para evaluar el estado hídrico en los cafetales. *Cenicafé* 61(1):55-66. 2010.

- RAMÍREZ, V.H.; ARCILA, J.; JARAMILLO, A.; RENDÓN, J.R.; CUESTA, G.; MENZA, H.D.; MEJÍA, C.G.; MONTOYA, D.F.; MEJÍA, J.W., TORRES, J.C.; SÁNCHEZ, P.M.; BAUTE, J.E.; PEÑA, A.J. Floración del café en Colombia y su relación con la disponibilidad hídrica, térmica y de brillo solar. *Cenicafé* 61(2):132-158. 2010.
- RAMÍREZ, V.H.; ARCILA, J.; JARAMILLO, A.; RENDÓN, J.R.; CUESTA, G.; GARCÍA, J.C.; MENZA, H.D.; MEJÍA, C.G.; MONTOYA, D.F. MEJÍA, J.W.; TORRES, J.C.; SÁNCHEZ, P.M., BAUTE, J.E.; PEÑA, A.J. Variabilidad climática y la floración del café en Colombia. Chinchiná: CENICAFE, 2011. 8 p. (Avances Técnicos No. 407).
- RAMÍREZ, V.H. Aplicación de los índices hídricos en la identificación de genotipos de café potencialmente tolerantes al exceso hídrico. p. 36-37. En: CENICAFÉ. Informe anual de actividades 2011. Chinchiná: CENICAFÉ, 2011. 147p.
- RAVENT, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E *Biology of plants*. 6. ed. New York , Freeman Publisher Co., 1999. 944 p.
- RENDÓN S., J.R.; ARCILA P., J.; MONTOYA R., E.C. Estimación de la producción de café con base en los registros de floración. *Cenicafé* 59(3):238-259. 2008.
- RIAÑO H., N.; LÓPEZ, Y. Estructura de la planta y su relación con las funciones vegetales: La planta, estructura y funciones. Chinchiná: FMM-CENICAFÉ, 2008. CD
- RIVILLAS O., C.A.; CASTRO T., Á.M. Ojo de gallo o Gotera del cafeto *Omphalia flavida*. Chinchiná: CENICAFÉ, 2011. 25 p. (Boletín Técnico No. 37).
- RUIZ, R. Efecto de la fenología del fruto del café sobre los parámetros de la tabla de vida de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Manizales: Universidad de Caldas, 1996. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 87 p Tesis: Ingeniero Agrónomo.
- SALAZAR G., M.R. Estudio anatómico y fisiológico del fruto del café *Coffea arabica* L. var Colombia. Popayán: Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación 1993. 98 p. Tesis: Licenciada en Biología.
- SALAZAR G., M.R.; RIAÑO H., N.M.; ARCILA P.; J.; PONCE D., C.A. Estudio morfológico, anatómico y ultra estructural del fruto del café *Coffea arabica* L. *Cenicafé* 45(3):93-105. 1994.
- SALAZAR G., M.R.; ARCILA P., J.; RIAÑO H., N.M.; BUSTILLO P., A.E. Crecimiento y desarrollo del fruto de café y su relación con la broca. Chinchiná: CENICAFÉ, 1993. 4 p. (Avances Técnicos No. 194).
- SALAZAR G., M.R.; RIAÑO H., N.M.; ARCILA P., J.; PONCE, C. Estudio morfológico anatómico y ultraestructural del fruto de café *Coffea arabica* L. *Cenicafé* 45(3):93-104. 1994.
- SIMON N.; E., CORTES H.; S.L., DÍAZ H.; W., VIGNON G. Efecto del tamaño de la semilla en el crecimiento de las plántulas de *Coffea arabica*, L. *Cultivos tropicales* 11(2):45-52. 1989.
- SNOECK, J. Facteurs du rendement influences par les apports dá zotechez le caféi robusta en Cote d´Ivoire. *Café cacao thé* (25):173-180. 1981.
- SUÁREZ de C., F. Distribución de las raíces del cafeto en un suelo franco limoso. *Boletín Técnico Cenicafé* 1(12): 5-28. 1953.
- SUÁREZ S., J.V. Influencia de la precipitación en el crecimiento del fruto de café. Chinchiná: CENICAFÉ, 1975. 4 p. (Avances Técnicos No. 89).
- SUÁREZ V.S. Suelos pesados de la zona cafetera. Chinchiná: CENICAFÉ, 1977. 4 p. (Avances Técnicos No. 71).
- VALENCIA A., G. Granos negros y caída de frutos de café. Chinchiná: CENICAFÉ, 1972. 4 p. (Avances Técnicos No. 21).
- VALENCIA A., G. El área foliar y la productividad del cafeto. *Cenicafé* 24(4):79-89. 1973.
- VALENCIA A., G.; ARCILA P., J. Secamiento y caída de frutos tiernos de café. Chinchiná: CENICAFÉ, 1975. 2 p. (Avances Técnicos No. 40).
- VALENCIA A., G. Relación entre de área foliar (IAF) y la productividad del cafeto. *Cenicafé* 24(4):79-89. 1983
- VALENCIA A., G. Manual de nutrición y fertilización del café. Quito (ecuador): INPOFOS, 1998. 61 p.
- VALENCIA A, G. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Chinchiná: CENICAFÉ : Agroinsumos del café, 1999. 94 p.

- VALIO, I.F.M. Inhibition of germination of coffee sedes (*Coffea arabica* L. c.v. Mundo novo) by the endocarp. *Journal of seed technology* (5):32-39. 1980.
- VELÁSQUEZ G., P.; ARCILA P., J.; ARISTIZÁBAL L., M. Relación entre el proceso de beneficio de la semilla de café *Coffea arabica* var. Colombia y el disturbio de la raíz bifurcada. *Cenicafé* 54(4):316-328. 2003.
- VÉLEZ A., B.E.; RIAÑO H., N.M.; ARCILA P., J.; MONTOYA R., E.C. Anatomía y ultraestructura foliar en diferentes genotipos de café: Informe interno. Chinchiná: CENICAFÉ. 1999. p 34
- VÉLEZ A.; B.E.; JARAMILLO R., A.; CHÁVEZ C., B.; FRANCO A., M. Distribución de la floración y la cosecha de café en tres altitudes. Chinchiná: CENICAFE, 2000. 4 p. (Avances Técnicos No. 272).
- VERGARA, C.H.; BANDANO, E.I. Pollinator diversity increases fruit production in mexican coffee plantations: The importance of rustic management systems. *Agriculture, ecosystems and environment* (129):117-123. 2009.
- WATSON, D.J. Comparative Physiological Studies on the Growth of Field Crops: I. Variation in Net Assimilation Rate and Leaf Area between Species and Varieties, and within and between Years *Annals of Botany* (1947) 11 (1): 41-76.
- WINTGENS, J.N. The coffee plant. p. 3-24. En: WINTGENS, J.N. *Coffee growing, processing, sustainable production: A guide book for growers, processors, traders and researchers*. Weinheim, Germany : Willey-VCH, 2004. p.
- WINTGENS, J.N.; WINTGENS, J.N.; WILEY V., W. *Germany coffee growing, processing, sustainable production: A guidebook for growers, processors, traders and researchers*. Weinheim (Alemania), Willey-VCH Verlag, 2009. 983 p.
- WIT, C.T. de. *De photosynthesis of leaf canopies agric*. Wageningen: Center for agricultural publications and documentation, 1965. 57 p.
- WORMER, T.M.; GITUANJA, J. Floral initiation and flowering of *Coffea arabica* L. in Kenya. *Experimental agriculture* 6:157-170. 1970.
- WRIGLEY, G. *Coffee*. Harlow: Longman, 1988. 639 p.

Variedades de café

Desarrollo de variedades

Hernando Alfonso Cortina Guerrero; José Ricardo Acuña Zornosa;
María del Pilar Moncada Botero; Juan Carlos Herrera Pinilla;
Diana María Molina Vinasco

Para el cultivo del café como para cualquier otro, las limitaciones bióticas (Plagas y enfermedades) y abióticas (Sequías, inundaciones, deficiencias nutricionales, entre otras) no solo determinan las zonas aptas para la producción sino que ocasionan un aumento de los costos de producción, al requerirse medidas de manejo y control para evitar o al menos mitigar sus efectos.

La obtención de variedades con resistencia genética a uno o varios de estos limitantes es una aspiración de prácticamente todos los programas de mejoramiento genético.

La Disciplina de Mejoramiento de Cenicafé ha tenido como objetivo principal la obtención de variedades mejoradas, en las cuales se busca combinar atributos agronómicos como: Resistencia a las enfermedades y plagas más limitantes, presentes o potenciales; calidad de grano (Tipo y tamaño), calidad de la bebida, alta producción y amplia adaptación a las condiciones agroecológicas del área cafetera del país.

En este capítulo se describirá el proceso de mejoramiento genético utilizado por Cenicafé, así como los recursos y las herramientas genéticas con los que cuenta la Institucionalidad Cafetera para el desarrollo de nuevas variedades. Seguidamente se habla de la historia del mejoramiento en Colombia y se resaltan los principales avances en la obtención de las variedades resistentes a la roya, la broca y a la enfermedad del fruto. Por último se describen las características de las variedades desarrolladas por Cenicafé, así como otras variedades y especies de café cultivadas no solo en Colombia sino en el mundo.



Descripción del proceso de mejoramiento genético

El **mejoramiento genético del café**, se rige por los principios y métodos de las plantas autógamas, las cuales se autofecundan (Krug y Carvalho, 1951). En estas plantas, el óvulo es fecundado por el polen de la misma flor, debido a que en la flor se encuentran los estambres y los pistilos. Como consecuencia de la continua autofecundación, estas plantas se vuelven más homogéneas genéticamente, formando las **líneas puras**, que se caracterizan por ser altamente homocigotas (Allard, 1978; Vallejo y Estrada, 2002). Las plantas homocigotas son aquellas que presentan un elevado grado de homogeneidad en todas sus características.

Con base en el conocimiento del mecanismo de reproducción del café (Figura 1), se ha desarrollado un método para la **polinización manual** entre plantas de interés, por ejemplo aquellas portadoras de genes de resistencia a enfermedades, a plagas, con mayor producción o con calidad diferenciada, entre otros, la cual se conoce como **crucamiento dirigido** (Figura 2).

En el mejoramiento genético del café se practican dos tipos de cruzamientos:

Cruzamientos intra-específicos entre variedades comerciales de *C. arabica*, para recombinar las características de interés existentes en dos o más variedades comerciales o introducciones de *C. arabica* de diferente procedencia. En generaciones avanzadas de cruzamiento (F5 ó F6)¹ se seleccionan progenies a partir de un progenitor de buenas características agronómicas con la certeza de que las mismas se expresen en su descendencia. Así, se recombinan dos o más atributos deseables existentes en diferentes genotipos.

Cruzamientos inter-específicos entre variedades comerciales de *C. arabica* y plantas de otras especies de *Coffea*, para recombinar genéticamente características de interés que no existen en el germoplasma² de *C. arabica*. También se puede realizar entre otras especies diferentes a *C. arabica*.

Etapas del mejoramiento genético

El mejoramiento genético de café permite obtener nuevas variedades acorde a las necesidades actuales de la caficultura, mediante el desarrollo de las siguientes

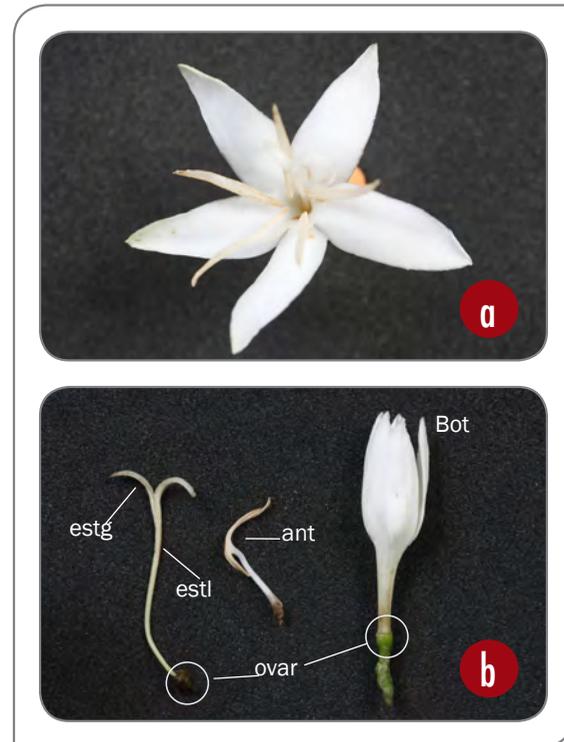


Figura 1.

Órganos reproductivos del café. (a), flor de *Coffea arabica* justo después de su apertura; (b), partes de la flor, en la cual se observa el órgano femenino compuesto por el estigma (**estg**), el estilo (**estl**) y el ovario (**ovar**); los estambres o parte masculina, compuesta por las anteras (**ant**) y su respectivo filamento; a la derecha se observa un botón floral (**Bot**).

etapas: **La identificación de los progenitores, su cruzamiento, la selección de las mejores plantas a lo largo de tres a cuatro generaciones**, y finalmente **la evaluación regional de la siguiente generación**, con el fin de escoger las mejores líneas que conformarán la nueva variedad.

El mejoramiento genético del café se basa en el conocimiento del **germoplasma** para la selección de los progenitores. El germoplasma contiene todas las variedades cultivadas en el mundo, los materiales silvestres de Etiopía y las especies diploides (*Coffea canephora* y *C. liberica*, entre otras). Las evaluaciones realizadas han permitido identificar dentro del germoplasma muchas características de interés como resistencia a la roya, CBD y nematodos, entre otras (Castillo y Parra, 1973; Castillo, 1975; Moreno *et al.*, 2000).

¹F5 : F significa filial y el número indica la generación

²Germoplasma: Conjunto de accesiones que contienen toda la variabilidad genética existente dentro de una especie de plantas

Principales etapas de la polinización manual de flores de café, utilizado por el programa de mejoramiento genético de Cenicafé



a. Selección de ramas con flores cerradas en la planta madre (Progenitor femenino).



b. Recolección de flores de la planta donante (Progenitor masculino), con el fin de obtener polen.



c. Retiro de los estambres de las flores de la planta madre (Emasculación).



d. Polinización manual de flores de la planta madre con polen de flores de la planta donante.



e. Protección de las ramas con flores polinizadas para evitar contaminación con polen exterior.

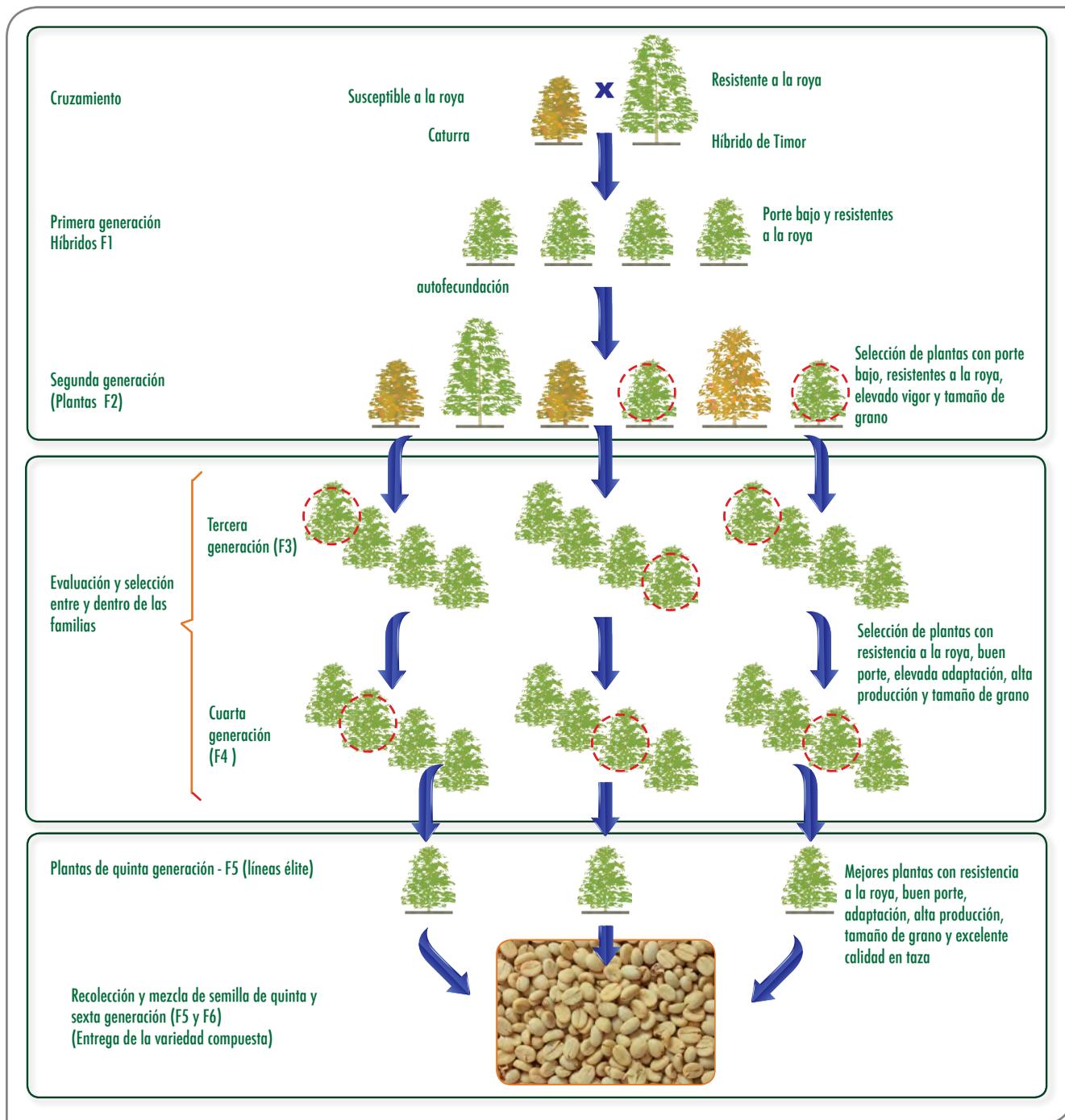
La selección de progenitores de las variedades compuestas se hace con base en sus características. Como **progenitor femenino** se utiliza una variedad base de amplia aceptación, excelentes características agronómicas y reconocida calidad de su bebida, mientras que como **progenitor masculino** se usa un genotipo portador de una o varias características ausentes en la variedad base, denominado progenitor

donante. A partir de su cruzamiento se inicia la selección sistemática de las mejores plantas, siguiendo el método genealógico o de pedigrí, el cual se basa en la escogencia de plantas individuales, dentro y entre familias. Con ellas, se continúa la selección durante cinco generaciones, realizando en cada generación una evaluación rigurosa por atributos agronómicos y de resistencia a la roya (Tabla 1).

	Generaciones de autofecundación				
	0%	50%	75%	88%	94%
Características	F1	F2	F3	F4	F5
Vigor		x	x	x	x
Porte		x	x		
Morfología		x	x	x	x
Grano		x	x	x	x
Producción			x	x	x
Adaptación			x	x	
Taza				x	x
Resistencia a roya		x	x	x	x
Resistencia a CBD				x	x

Tabla 1.

Características fenotípicas evaluadas a lo largo del proceso de selección, en cada una de las generaciones de autofecundación.

**Figura 2.**

Esquema de mejoramiento para la obtención de las variedades compuestas.

Las mejores líneas avanzadas (F4-F5) son finalmente evaluadas en diferentes ambientes (Ensayos regionales) y seleccionadas según su comportamiento. Las progenies con mejor comportamiento en un ambiente particular, servirán para la conformación de las variedades compuestas de uso regional. Por otra parte, aquellas líneas que muestran un buen comportamiento en todos

los ambientes harán parte de la variedad de adaptación general.

Una vez obtenida la variedad, se **multiplica y distribuye su semilla** a los caficultores, cuidando que ésta cumpla con las características de identidad, sanidad, pureza

y viabilidad. Cenicafé es el encargado de producir la semilla, controlar y avalar su calidad.

Relevancia de los estudios sobre el genoma del café

El **mejoramiento genético** de especies vegetales, y en particular del café, se ha hecho basado en características visibles o medibles (Fenotipo), por ejemplo, la resistencia a la roya, el tamaño del grano o la producción. Tales características dependen de la información contenida en el genoma de la especie. Es por ello que un mejor conocimiento del **genoma** puede hacer más eficiente el mejoramiento genético del cultivo, en la medida que permita la identificación de las regiones que contienen los genes que gobiernan tales caracteres.

El estudio del genoma se denomina **genómica** y su fin es la identificación, localización y caracterización de los genes que, en forma individual o en conjunto, son responsables por la expresión de las características de una especie u organismo. El análisis de la variabilidad de los diferentes genes y de los fenotipos resultantes, es la clave para conocer, no sólo la función de cada gen, sino dónde, cómo, cuándo y por qué se expresa.

Para conocer dónde están los genes se utiliza el **mapa genético**, que es una representación esquemática de los cromosomas de una especie. Está formado por un conjunto de marcas o señales que se distribuyen a lo largo del mapa, los cuales representan los **marcadores moleculares**. Éstos son secuencias de ADN, cuya información no varía con el ambiente, son específicos para cada individuo (Huella génica) y están presentes en cualquier etapa de su desarrollo, permitiendo su temprana detección. Cuando un marcador está asociado a un gen, se dice que dicho marcador está ligado al gen en cuestión. La asociación entre la información de campo (**Caracteres típicos**) y el mapa, hacen posible identificar los genes o las regiones cromosómicas involucradas en la expresión de los caracteres agronómicos de interés. La identificación de marcadores ligados a genes de interés es lo que permite la **selección asistida**. Ésta consiste en seleccionar plantas portadoras de un carácter de interés por la presencia o ausencia de un marcador ligado.

Colección Colombiana de Café

El **germoplasma** es la materia prima para el mejoramiento genético y contiene la diversidad con la que se pueden afrontar los retos presentes y futuros de un cultivo, con el desarrollo de variedades. El germoplasma de



Consideraciones prácticas

*En Cenicafé se está construyendo un mapa genético de *Coffea arabica*³ donde se están identificado marcadores asociados a resistencia a la roya y a la enfermedad de las cerezas del café, producción, tamaño de grano y altura de la planta, que servirán para la implementación de estrategias de selección asistida en el desarrollo de nuevas variedades.*

una especie está constituido por todos los genotipos taxonómicamente cercanos, con los cuales pueden recombinarse genes por hibridación o cruzamiento. Su mantenimiento, evaluación y documentación son esenciales para su utilización. Por ser el café una especie africana, en Colombia toda la diversidad disponible para los programas de mejoramiento se encuentra en el **Banco de Germoplasma de Café de Cenicafé, conocido como la Colección Colombiana de Café (C.C.C.)**. Esta colección se mantiene en el campo, debido a que las especies del género *Coffea* poseen semillas recalcitrantes, que se caracterizan por presentar un corto período de viabilidad.

La C.C.C. se empezó a establecer en la década de 1940, y hoy tiene más de 3.000 entradas. Por su origen se divide en dos partes:

1. Las introducciones traídas a Colombia en diferentes épocas procedentes de países como Etiopía, El Congo, India, Brasil y Costa Rica.
2. Las selecciones realizadas a partir de las introducciones y en las poblaciones segregantes desarrolladas en Cenicafé. Taxonómicamente comprende introducciones y selecciones de *C. arabica*, algunas introducciones de *C. canephora* y de *C. liberica*, y unos cuantos representantes de otras 12 especies de este género. También hay híbridos interespecíficos introducidos o desarrollados en la Disciplina de Mejoramiento Genético.

El germoplasma colombiano de café se encuentra ubicado en varios lotes en los campos de la Estación Central Naranjal de Cenicafé, en Chinchiná (Caldas). Cada introducción (Especie, variedad u otro material del género *Coffea*) se encuentra representada por diez plantas. En

³ MONCADA B., M del P. 2001. Construcción de un mapa genético en café y su utilización para la detección de QTL. Proyecto de investigación MEG1400. Disciplina Mejoramiento Genético. Cenicafé.

la Colección se realizan las labores de mantenimiento que incluyen buenas prácticas agronómicas como fertilizaciones, control de arvenses, manejo fitosanitario con podas, control de broca, controles de roya en las introducciones susceptibles y de llaga macana durante el zoqueo en las accesiones de *C. arabica* diferentes a Borbón resistente a esta enfermedad. Periódicamente, se revisan las introducciones para definir su renovación, la cual se hace por estaca y, eventualmente, en *C. arabica* por semilla.

Inicialmente, el énfasis en las evaluaciones estuvo en el rendimiento, las características de grano (Castillo, 1975) y el contenido de cafeína y sólidos solubles (Castillo y Parra, 1973), más tarde, ante la amenaza de la llegada de la roya al país, además de los caracteres agronómicos, se evaluó el comportamiento de un buen número de introducciones y selecciones a las razas de roya que se mantenían en el Centro de Investigaciones de las Royas del Café en Portugal (CIFC) (Castillo *et al.*, 1976; Castillo y Moreno, 1982). Después de la llegada de la roya a Colombia, se inició la evaluación del germoplasma para resistencia incompleta (Alvarado y Castillo, 1996), y casi simultáneamente se empezaron las evaluaciones para resistencia a diferentes aislamientos de *Colletotrichum kahawae* (Moreno *et al.*, 1991; Moncada 2005), agente causal de la enfermedad de los frutos del café (CBD), y en la década de 1990 como consecuencia de la llegada de la broca (*Hypothenemus hampei* Ferrari) al país, se evaluó para resistencia a este insecto (Cortina, 2000; Romero y Cortina, 2004; Moncada, 1993⁴). También se han hecho evaluaciones para resistencia a llaga macana (*Ceratocystis fimbriata*).

En la actualidad se ha evaluado más del 90% de las entradas de la Colección, para productividad y características de grano (Tamaño de grano y frecuencias de frutos vanos y granos caracoles), gran parte de las selecciones han sido evaluadas para resistencia a roya, en el CIFC y en experimentos de campo, usando la escala de Eskes, la cual es una medida de resistencia a la roya. Además, se ha evaluado el comportamiento frente a la broca de la mayoría de las introducciones. Actualmente, se evalúa para calidad en taza y para resistencia a déficit y exceso hídrico, y se planean nuevas evaluaciones contra otras enfermedades y plagas, y para el uso eficiente de nitrógeno. También se han hecho caracterizaciones, inicialmente morfológicas como color de los frutos o de los brotes, altura, tipo de planta y ramificación, entre otras (Marín y Orozco, 1968). Se han usado marcadores moleculares RAPDs (Chaparro *et al.*, 2004), y microsatélites (Moncada, 2004). Se realizan análisis de la estructura poblacional y diversidad genética presentes en la Colección (López *et al.*, 2005), con el fin de construir una Colección Núcleo (*Core Collection*).

El germoplasma se ha utilizado de acuerdo con los objetivos del mejoramiento del café en Colombia. Al principio se hicieron cruzamientos de Típica X Borbón, buscando selecciones que combinaran un tamaño de grano grande con alta producción. En la década de 1960 se introdujo y evaluó la variedad Caturra, un mutante de Borbón de porte bajo, con el que se inició la caficultura intensiva en el país. A comienzos de 1970 y ante la inminencia de la llegada de la roya al país se cruzaron genotipos portadores de genes de resistencia a la roya, el más importante de los cuales es el Híbrido de Timor, un híbrido natural entre *C. arabica* y *C. canephora*, con varios genes de resistencia a la enfermedad. Para la liberación de variedades resistentes a la roya, y considerando la estrecha base genética de las variedades cultivadas en ese momento, sinónimo de vulnerabilidad, la Disciplina de Mejoramiento Genético de Cenicafé escogió como estrategia la diversidad, y como resultado del cruzamiento de Caturra x Híbrido de Timor se obtuvo la variedad Colombia (Castillo y Moreno, 1986), y más tarde las variedades Tabi (Moreno, 2002) y Castillo®, lo mismo que sus compuestos regionales (Alvarado *et al.*, 2005).

Actualmente se tienen líneas avanzadas y poblaciones tempranas, derivadas de híbridos intraespecíficos de genotipos mejorados con introducciones Etiópicas, de Sudán y de India, e híbridos interespecíficos, derivados del cruzamiento de líneas mejoradas con introducciones de las especies *C. canephora* y *C. liberica*, buscando incorporar a las variedades mejoradas nuevos genes de resistencia a la roya (Cortina y Alvarado, 1997). Lo anterior resalta la importancia de la colección, cuyo valor es mayor si se considera el significado del café para el país, la erosión genética de esta especie en su centro de origen y las restricciones, cada vez mayores, para acceder a su germoplasma.

Historia del mejoramiento del café en Colombia

El mejoramiento genético del café en Colombia data del año 1938, cuando se creó el Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé. Desde entonces, varios cambios ocurridos en la caficultura de Colombia guardan estrecha relación con el trabajo de mejoramiento genético.

Quizá los más importantes se pueden resumir a continuación:

⁴ MONCADA B., M del P. 1993. Búsqueda de fuentes de resistencia a la broca *Hypothenemus hampei*, en germoplasma de café. Proyecto de investigación MEG0800. Disciplina Mejoramiento Genético. Cenicafé.

Típica (1938-1960)	Borbón (1938-1960)	Caturra (1960-1983)	Colombia (1983 - 2003)
-----------------------	-----------------------	------------------------	---------------------------

Tabi (2002)	Variedad Castillo® (2005)	Castillo® Regionales (2005)
----------------	------------------------------	--------------------------------

Las primeras variedades (1938-1960)

La variedad Típica fue la más cultivada en América. En Colombia fue la única variedad hasta la década de 1960. Las selecciones de la variedad Típica se adelantaron entre 1941 y 1960, y dieron como resultado una serie de progenies muy vigorosas, excelentes características del grano y una producción de 379 @.ha-año⁻¹ de café pergamino seco (c.p.s). Durante al menos 20 años se recomendó a los caficultores el uso de la semilla de estas selecciones (Castillo, 1957).

En aquella época se creía que esta variedad poseía una amplia variación genética, a partir de la cual era factible realizar selecciones más productivas. Durante muchos años se recolectaron plantas sobresalientes en fincas de cafeteros y se evaluaron sus progenies. El estudio de nuevas progenies y la comparación de la variedad Típica con otras variedades demostraron su extremada uniformidad genética y su menor producción en cultivo intensivo.

Para esta época Johannsen (1909) había establecido la teoría de las líneas puras, donde se enunciaba que en las especies autógamas como el café, los individuos son homocigóticos (Líneas puras) y dentro de ellos la variación es ambiental y la selección no es exitosa. Debido a la escasa variación genética de la variedad Típica, se estudiaron otras variedades, lo que permitió la selección de algunas con producciones entre 19% y 27% más que Típica (Castillo, 1957).

Investigaciones realizadas en la década de 1950, sobre el cultivo a plena exposición solar y sobre las prácticas intensivas de poda y fertilización usadas en Hawaii, mostraron un efecto positivo de la energía solar sobre el café, con incrementos de la productividad. El programa de mejoramiento de Cenicafé aprovechó estos resultados y, desde 1955, los adoptó en la ejecución de sus experimentos. Esta técnica permitió la evaluación de variedades altamente productivas como Borbón y Mundo Novo, así como de variedades de porte bajo. Su utilización también permitió evaluar introducciones silvestres, semi-silvestres y genotipos desarrollados en Estaciones Experimentales de otros países.

Las selecciones realizadas con la **variedad Borbón** fueron las más productivas, con un rendimiento entre

20% y 30% más que la variedad Típica. En Colombia, se obtuvieron dos selecciones de interés: Un Borbón resistente a la llaga macana (R.M), que es la progenie de una planta resistente a *Ceratocystis fimbriata*, Ell. and Halst, y la selección Amarillo Chinchiná.

Las variedades de porte bajo (1960-1983)

El aporte más valioso de los ensayos bajo cultivo intensivo fue el descubrimiento de la productividad de la variedad Caturra. Esta variedad originaria del Brasil y cultivada allí desde principios del siglo XX, fue introducida a Colombia en 1952 y en la década de 1960 se difundió ampliamente entre los caficultores. Tiene una excelente adaptación especialmente a los climas con lluvias distribuidas durante los 12 meses del año, tal como sucede en la zona central de Colombia.

Investigaciones realizadas por Cenicafé entre los años 1960 y 1964, pusieron en evidencia su buena productividad. Se concluyó que las producciones eran bastante elevadas si se consideraba el tamaño de las plantas de Caturra, lo que permitió incrementar las densidades de siembra.

La mayor transformación de la caficultura colombiana ocurrió entre 1960 y 1970. Esta variedad permitió la adopción de las buenas prácticas agronómicas usadas en las modernas variedades mejoradas, que se traducen en altos rendimientos y mayores ingresos para los caficultores.

Las variedades resistentes a la roya (1983-2006)

El segundo cambio en importancia fue la obtención y la siembra de variedades resistentes a la roya del café (*Hemileia vastatrix*).

En la década de 1950, los fitopatólogos Wellman y Cowgill (1952), quienes trabajaban con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, advirtieron sobre la llegada de la roya a América, y distribuyeron en varios países, entre ellos Colombia, 72 introducciones de plántulas originarias de África (Etiopía, Kenia, Tanganika, Congo Belga y Camerún), India y Brasil. En 1959, Gerardo Quiceno, fitomejorador de Cenicafé, introdujo de Centroamérica tres variedades, y en 1961, el doctor Hernán Uribe trajo del Centro de Investigaciones de las Royas del Café en Portugal (CIFC) semillas de cinco introducciones, entre las que se encontraba el Híbrido de Timor. Las anteriores introducciones junto

con una de Borbón Salvadoreño y una de San Bernardo (Procedentes de Guatemala), conformaron las primeras 83 introducciones de la Colección Colombiana de Café. Estas introducciones fueron estudiadas en Cenicafé, en la década de 1960, por sus características agronómicas.

Con la llegada de la roya al Brasil en 1970, se diseñó un programa de mejoramiento para obtener una variedad de café con resistencia a la roya. Este programa se fundamentó en tres aspectos: a) Adoptar la diversidad genética como estrategia para el desarrollo de la nueva variedad; b) Elegir como fuente de resistencia un nuevo genotipo, el Híbrido de Timor, para ese entonces poco conocido; y c) Utilizar la variedad Caturra como variedad básica para los cruzamientos, con la finalidad de obtener una variedad de porte bajo, apta para el cultivo intensivo y aceptada por los caficultores.

El Híbrido de Timor está constituido por la descendencia de un cruzamiento espontáneo entre las especies *C. arabica* y *C. canephora*, encontrado en la isla de Timor, posiblemente hacia el año de 1917 (Bettencourt, 1973). Se trata de una población de *C. arabica*, autofértil y tetraploide, que comenzó a cultivarse en su lugar de origen, entre 1940 y 1949, para reemplazar las variedades locales de *C. arabica*, seriamente atacadas por la roya. El Híbrido de Timor posee genes de resistencia a la roya y a la enfermedad de la cereza del café, causada por el hongo *Colletotrichum kahawae*.

Posterior al cruzamiento de Caturra por el Híbrido de Timor, y gracias a la colaboración del CIFC, se evaluaron varios híbridos, a partir de los cuales se seleccionaron poblaciones promisorias (Castillo y Moreno, 1982). El trabajo progresó notablemente en ausencia de la enfermedad en el país, lo que permitió el desarrollo de la primera variedad compuesta con resistencia a la roya del café, alta productividad y excelente calidad de la bebida que fue denominada **variedad Colombia**. Cabe resaltar, que muchos caficultores la sembraron antes de la llegada de esta enfermedad al país (Castillo y Moreno, 1988).

En 2002 se liberó la **variedad Tabi**, una variedad compuesta, resistente a la roya, proveniente de la selección de progenies de los cruzamientos entre el Híbrido de Timor y las variedades Típica y Borbón. De porte alto, resistente a la roya, buena productividad, excelente granulometría y calidad en taza

Tres años más tarde se liberó la **Variedad Castillo® y sus compuestos regionales: las Variedades Castillo® Naranjal, Castillo® El Rosario, Castillo® Paraguaicito, Castillo® La Trinidad, Castillo® Pueblo Bello, Castillo®**

Santa Bárbara y Castillo® El Tambo, los cuales también fueron obtenidos a partir de progenies derivadas del Caturra x Híbrido de Timor. Además de ampliar la base genética del Híbrido de Timor, se hizo una selección más rigurosa, enfatizando no solo en la resistencia a la roya sino también en el tamaño del grano, la productividad y la tolerancia al CBD, esta última con base en evaluaciones realizadas por el CIFC de Portugal.

Además de identificar la tolerancia de estas variedades, a la enfermedad de las cerezas del café, éstas tienen mayor productividad en ambientes específicos, gracias a la buena adaptación de algunos de sus componentes en las Variedades Regionales.

Logros del Mejoramiento Genético en Cenicafé

- **La obtención de variedades mejoradas:** El logro más importante ha sido la obtención de las variedades Colombia (1983–2005), Tabi (2002-) y Castillo® (2005-) y las variedades Castillo® regionales (2005-).
- **El mejor conocimiento sobre los recursos genéticos del café:** A través de numerosos experimentos ejecutados desde 1940, se ha reunido información sobre las principales características agronómicas y de calidad de algunas introducciones de la Colección Colombiana de Café (Germoplasma), especialmente de la especie *C. arabica* (Moreno *et al.*, 2000). Este conocimiento ha sido la base para los programas de hibridación y selección, que han originado las variedades mejoradas de café sembradas en el país.
- **La obtención de numerosos genotipos a partir de cruzamientos y selección** que constituyen la colección de trabajo para los proyectos de investigación, y se conservan en la Colección Colombiana de Café (CCC). En esta colección de trabajo se cuenta con selecciones muy productivas, con resistencia a varios aislamientos del CBD, diferentes genes de resistencia a la roya, baja postura de huevos (Oviposición) por la broca, resistencia a llaga macana y alto porcentaje de café supremo (Moreno *et al.*, 1983; Moreno *et al.*, 2000; Romero y Cortina, 2004).
- **La construcción del primer mapa genético de *C. arabica*** e identificación de marcadores moleculares ligados a caracteres de interés agronómico para selección asistida.
- **La identificación de genes promisorios para resistencia a la broca del café**, provenientes de semillas de leguminosas y de una bacteria.

Algunas de las **perspectivas más importantes del Mejoramiento Genético en el mediano y largo plazo** son:

- **Liberación de variedades que recombinen la resistencia a la roya y a la enfermedad de las cerezas del café (CBD).**
- **Liberación de variedades con genes de resistencia a la roya provenientes de *C. canephora* y accesiones Etiopes.**
- **Exploración del germoplasma de *C. arabica*, por calidad en taza, estrés hídrico y eficiencia en el uso de fertilizantes.**

Mejoramiento genético por resistencia a la roya del cafeto



En Colombia una de las mayores limitantes bióticas es la enfermedad de la roya del cafeto, la cual puede disminuir la producción hasta en un 23% en el acumulado de cuatro cosechas, en ausencia de control (Rivillas *et al.*, 2005). Aunque la aplicación de fungicidas puede ser efectiva cuando se aplica en el momento y de la manera adecuada, factores como las altas pendientes de la zona cafetera y las altas precipitaciones limitan su eficiencia y encarecen su utilización por parte de nuestros caficultores. Adicionalmente, y no menos importante, es el problema de contaminación ambiental derivado de la aplicación, a veces indiscriminada, de este tipo de sustancias químicas.

El uso de resistencia genética permite al caficultor obtener cosechas en presencia de la enfermedad, a menores costos y sin que la producción ni la calidad del producto se afecten de manera significativa. En ese contexto, **la adopción de variedades resistentes es la alternativa de control más efectiva, económica y ambientalmente segura** (Moreno, 2004).

Características de la enfermedad. La roya de la hoja del cafeto es causada por el hongo *Hemileia*

vastatrix específico del café, razón por la cual se clasifica dentro de los parásitos obligados. Este hongo apareció por primera vez en 1861 en la región centro-oriental de África, muy cerca de zona considerada como el centro de origen de la especie *Coffea arabica*. Pocos años después, y gracias a la expansión del cultivo del café arábigo, esta enfermedad causó epidemias devastadoras en plantaciones de Ceilán, India, Java y Filipinas (Wellman y Cowgill, 1953; Kushalappa y Eskes, 1989).

Desde el punto de vista epidemiológico, se sabe que el progreso de la enfermedad depende de la ocurrencia simultánea de cuatro factores principales: a) Una planta susceptible (Hospedante); b) Una raza de roya compatible (Agente causal); c) Un clima favorable; y d) Unas prácticas agronómicas deficientes (Rivillas *et al.*, 2005).

Mecanismos genéticos de la resistencia. Los estudios de herencia de la resistencia contra la roya del cafeto se remontan hacia principios de 1960, cuando los investigadores del Centro Internacional de las Royas del Café (CIFC, por sus siglas en portugués), mostraron que la interacción café-roya está mediada por la expresión de genes, tanto en la planta (Genes de resistencia) como en el patógeno (Genes de virulencia). Fue así como en la especie *C. arabica* se identificaron cuatro genes de resistencia denominados como S_H1 , S_H2 , S_H4 y S_H5 , presentes tanto en variedades comerciales como en formas de café semi-silvestres de Etiopía. En India se detectó el gen S_H3 en derivados del cruce entre *C. arabica* x *C. liberica*, mientras que en genotipos provenientes del Híbrido de Timor se han encontrado otros cinco genes denominados S_H6 , S_H7 , S_H8 , S_H9 y S_H10 , los cuales se estima provienen de la especie diploide *C. canephora*, considerada uno de los progenitores de este híbrido natural (Bettencourt y Rodrigues Jr, 1988).

Las combinaciones de los genes de resistencia S_Hi constituyen en las plantas los “grupos fisiológicos de resistencia”, y las de los genes de virulencia V_r , en el hongo, las “razas fisiológicas de virulencia” (Razas de roya). Hasta hoy han sido identificadas más de 40 razas de *H. vastatrix* (Rodrigues Jr *et al.*, 2000).

Fuentes de resistencia contra la roya

Desde el punto de vista del mejoramiento de la especie *C. arabica*, resulta mucho más fácil y eficiente la transferencia de aquellos genes de resistencia presentes en genotipos de la misma especie, razón por la cual inicialmente en los programas de mejoramiento se usaron los genes de las variedades de *C. arabica* (Dilla & Alge, Geisha y Agaro, entre otras) y posteriormente del Híbrido de Timor (Kushalappa y Eskes, 1989).

Por el número de genes de resistencia que posee y la facilidad con que éste se cruza con las demás variedades de *C. arabica*, el Híbrido de Timor es el progenitor más utilizado en la mayoría de los programas de mejoramiento alrededor del mundo (Bettencourt, 1983; Moreno, 2004). Este recurso genético corresponde a una población heterogénea de cafetos de porte alto, tetraploide y autofértil, inicialmente recolectada en una sola planta, dentro de una plantación de *C. arabica*, en la isla de Timor (Indonesia). Se cree que se formó por cruzamiento natural entre las especies *C. arabica* y *C. canephora*, el cual se estabilizó progresivamente hasta llegar a comportarse como una introducción más de *C. arabica* (Moreno, 1989; Bettencourt y Rodrigues Jr, 1988). Gracias a su relación ancestral con la especie *C. canephora*, el Híbrido de Timor muestra elevada resistencia a la roya, a la enfermedad de las cerezas del café y a los nematodos de la raíz del género *Meloidogyne*.

En el mundo se dispone de germoplasma del Híbrido de Timor proveniente de tres recolecciones de semilla realizadas en las plantaciones de Timor, que fueron enviadas al CIFC a partir de 1955 y, posteriormente, difundidas a otros centros de investigación ubicados principalmente en América. A Colombia fueron introducidas a partir de 1961 y actualmente se conservan en la Colección Colombiana de Café (Moreno y Castillo, 1979; Castillo y Moreno, 1988; Moreno, 1989).

Numerosos estudios realizados con el Híbrido de Timor muestran que esta población posee al menos cinco genes de resistencia, que actúan solos o en combinación, aumentando las posibilidades de resistencia contra las diferentes razas del hongo. En consecuencia, en las poblaciones derivadas de los cruzamientos dirigidos (Poblaciones segregantes), es posible seleccionar plantas que portan combinaciones al azar de los cinco genes de resistencia presentes en el Híbrido de Timor (S_H6 , S_H7 , S_H8 , S_H9 , S_H10). Con base en este número de genes, se estima que existen al menos 32 combinaciones genotípicas posibles, siendo las más frecuentes aquellas que involucran entre dos y tres genes (Figura 3).

La dinámica de la resistencia. La formación de razas es un fenómeno natural de los hongos fitopatógenos como *H. vastatrix*. Estos organismos disponen de una gama de mecanismos de variabilidad que les permiten producir formas genéticamente diferentes, que darán origen a nuevas razas (Riley, 1973; Van der Plank, 1968).

La pérdida o quiebra de la resistencia a la roya del café (*Hemileia vastatrix*), en genotipos libres de la enfermedad, ha sido un fenómeno repetidamente observado, inicialmente en Java y en India, a finales de los siglos XIX y principios del XX, cuando iniciaron la búsqueda de variedades con resistencia a la

enfermedad. Igual ha acontecido cuando las nuevas variedades poseedoras de resistencia a la roya del café se exponen a la enfermedad. Estos cambios de resistencia a susceptibilidad se deben a variaciones en la frecuencia de las razas de *H. vastatrix* presentes en las diferentes regiones productoras (Rodrigues Jr et al., 2000; Zambolin et al., 2005; Crisancho et al., 2007).

Desde 1990, en plantaciones comerciales sembradas con la variedad Colombia, y en poblaciones experimentales del mismo origen se han observado incrementos en la frecuencia de plantas susceptibles a la roya (Alvarado y Castillo, 1996). Para conocer la evolución del patógeno en la variedad Colombia, se realizaron muestreos en plantaciones de los agricultores en los departamentos y municipios productores con mayor adopción de la variedad. El estudio indicó que había un aumento progresivo de plantas susceptibles especialmente en los departamentos de Caldas, Risaralda, Quindío y Antioquia, pioneros en su adopción (Alvarado, 2004; Alvarado y Moreno, 2005). Recientemente, este mismo fenómeno ha sido constatado al evaluar la evolución progresiva de la susceptibilidad en materiales plantas derivadas del Híbrido de Timor, que hasta hace poco tiempo permanecían resistentes a la enfermedad (Crisancho et al., 2007).

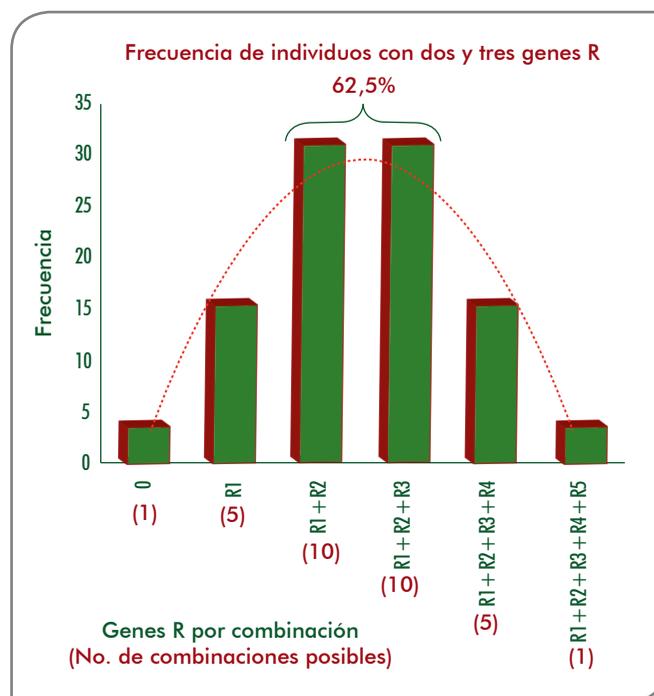


Figura 3.

Patrón de recombinación de cinco genes de resistencia (R1 a R5), en una población de 100 individuos.

Mejoramiento genético por resistencia a la roya en Colombia

La diversidad como una estrategia de protección genética. En el desarrollo de variedades con resistencia a la roya del cafeto, Cenicafé adoptó la diversidad genética como la vía más indicada para asegurar estabilidad y duración de la resistencia a la enfermedad. La estrategia se fundamenta en la “teoría unificada de la protección genética de los cultivos contra las enfermedades” propuesta por Browning (1974). Según esta teoría, en las poblaciones naturales se da un “equilibrio armónico” que mantiene estables las poblaciones tanto de hospedantes como de patógenos, evitando la aparición de epidemias severas. Dicho equilibrio natural se alcanza gracias a la acción de numerosos mecanismos de protección, entre los cuales están la resistencia, la inmunidad, la tolerancia y la homeostasis, entre otros.

Castillo y Moreno, buscando reproducir dicha condición de equilibrio, desarrollaron la variedad Colombia, de tipo compuesto, que involucra una mezcla de diferentes líneas

portadoras de combinaciones genéticas variadas contra la roya (Castillo y Moreno, 1988; Moreno, 2004), cuya diversidad favorece una mínima presión de selección del hospedante hacia el hongo.

En la Figura 4 se ilustra la **forma como trabaja la variabilidad genética frente al ataque de la roya**. Mientras en una variedad monolínea todas las plantas son genéticamente iguales, lo cual se representa con la presencia de un solo gen de resistencia (R1), en una variedad compuesta, las líneas que la componen difieren entre sí respecto a la resistencia, lo cual se ilustra mediante seis genes diferentes (R1 a R6). En condiciones favorables para un ataque de roya, en este caso una cepa compatible con el gen R1, la monolínea sucumbirá rápidamente a la enfermedad debido a su uniformidad genética, mientras que la variedad compuesta limitará el ataque del hongo, gracias a la diversidad entre las plantas vecinas (Figura 4).

Cuando ocurre una infección de roya en una población diversa en sus combinaciones de genes de resistencia, lo que se espera es que una gran proporción de las esporas

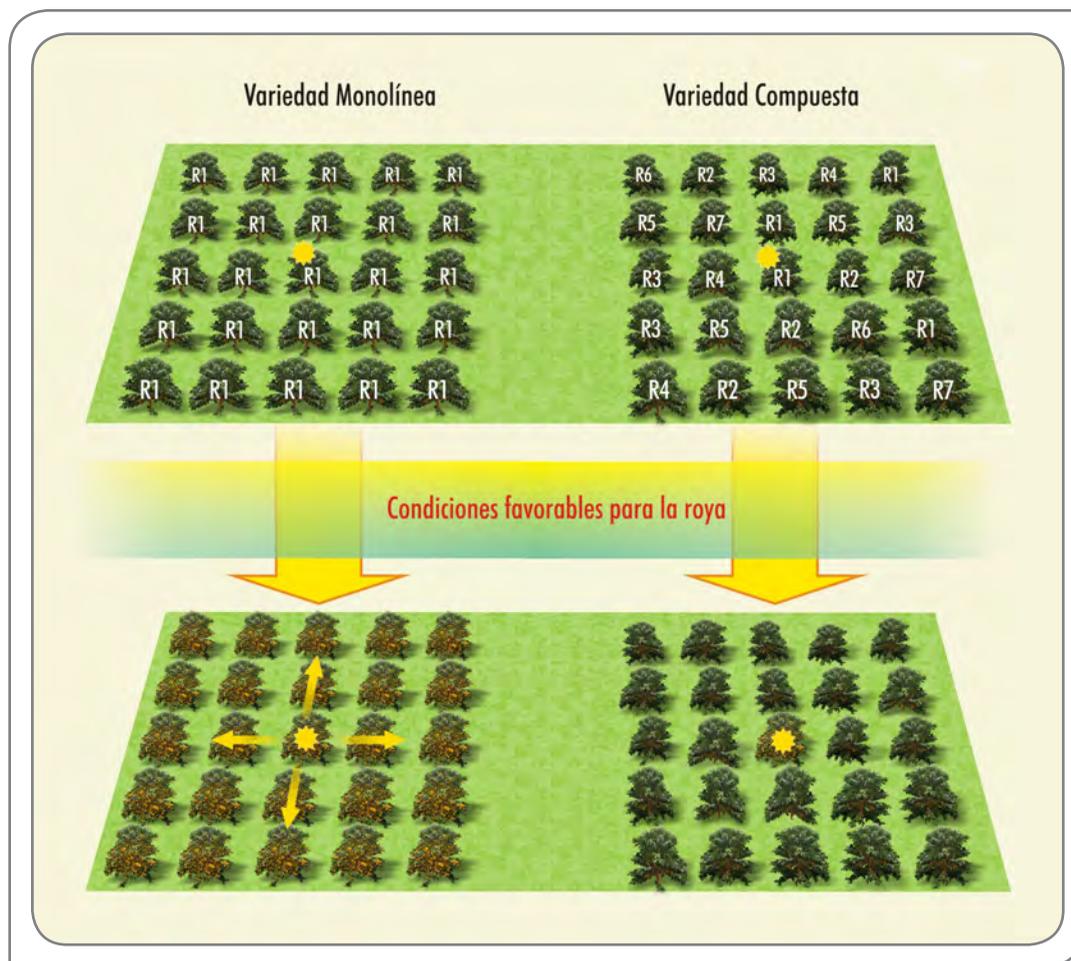


Figura 4.

Esquema de la forma como actúa la variabilidad genética de la resistencia frente al ataque de la roya en una variedad compuesta respecto a una variedad monolínea.

del hongo se pierda, ya que las plantas vecinas a la planta atacada, siempre tendrán una o varias combinaciones incompatibles de resistencia. Así, **entre mayor número de genotipos de resistencia haya en la mezcla en el campo, más lenta será la dispersión de la enfermedad en el cultivo.**

Desarrollo de variedades. El esquema de mejoramiento por resistencia a la roya que ha sido usado por Cenicafé, parte de un cruzamiento entre una variedad de amplia aceptación y adaptación, como la variedad Caturra, con excelentes características agronómicas, de reconocida calidad de su bebida, pero susceptible a la enfermedad, con una variedad altamente resistente al ataque de la roya, el Híbrido de Timor, que actúa como progenitor donante de la resistencia.

Todas las variedades compuestas obtenidas hasta hoy se distinguen por ser dinámicas, lo que significa que es posible retirar o adicionar componentes según su comportamiento frente a la roya y otros caracteres. Valiéndose de esta estrategia, Cenicafé ha generado numerosas progenies que han sido incorporadas progresivamente a la variedad, y que han permitido mejorar otras características como el tamaño del grano y la productividad.

La primera variedad obtenida fue la **variedad Colombia** (Castillo y Moreno, 1988), la cual fue entregada en 1980, tres años antes de la llegada de la roya al país, y desde 1982 se incrementó gradualmente la oferta de su semilla a los caficultores. Su composición inicial consistió en la mezcla de 50 componentes de generaciones F5 y F6, poseedores de excelentes características agronómicas, de ellas 23 de fruto rojo y 27 de fruto amarillo, las cuales fueron seleccionadas a partir de cuatro experimentos, en los cuales se evaluó la progenie F5 de 138 progenitores de generación F4. A partir de 1990, y para atender la solicitud de los caficultores de mejorar el tamaño del grano, se reemplazaron algunas de las progenies. El impacto de este ajuste a su composición fue reconocido por los caficultores, quienes le dieron la denominación de "variedad supremo". Modificaciones posteriores se realizaron para actualizar su composición frente a la roya del café.

También se han obtenido líneas mejoradas de porte alto resultantes de cruzamientos entre las variedades Típica y Borbón con el Híbrido de Timor. Estas líneas conforman la **variedad Tabi**, que es una variedad compuesta recomendada para regiones donde se siembran variedades de porte alto, las cuales representan cerca del 30% de la superficie cultivada (Moreno, 2002). Siguiendo el mismo esquema, Cenicafé

liberó en 2005 la **Variedad Castillo®** con adaptación general y siete **variedades regionales** (Figura 5) con adaptación específica (Alvarado et al., 2005), de porte bajo, resistencia durable a la roya del café y tolerancia al CBD. El excelente comportamiento en ambientes específicos de algunas progenies de Caturra x Híbrido de Timor, de generaciones avanzadas, que son parte de la Variedad Castillo®, permitieron su selección para conformar variedades regionales derivadas, con mayor productividad, brindando a los productores beneficios adicionales en las áreas de cultivo.

Consideraciones prácticas

La productividad mayor esperada con las variedades Castillo® de uso regional varía entre 9,1% en la zona representativa de la Estación Experimental La Trinidad localizada en el municipio del Líbano (Tolima), y 17,9% en la Estación Santa Bárbara en Sasaima (Cundinamarca), con respecto a la Variedad Castillo® general.

Avances y perspectivas del mejoramiento por resistencia a la roya

Si bien las variedades obtenidas han mostrado una resistencia de más de 30 años, como se dijo anteriormente, la roya es un patógeno en constante evolución, que en el transcurso del tiempo genera nuevas razas, algunas de las cuales son compatibles con los componentes de las variedades comerciales, que utilicen como fuente de resistencia al Híbrido de Timor. Por esta razón, **la Disciplina de Mejoramiento Genético trabaja en el desarrollo de poblaciones que posean nuevos genes de resistencia contra la enfermedad, las cuales servirán de base para la obtención de variedades resistentes.**

En la actualidad se están evaluando generaciones F3 y F4, derivadas de cruces entre líneas élite de Castillo® y selecciones de cafés arábigos silvestres. Otros cruzamientos de interés involucran genes nuevos, derivados tanto de la especie *C. canephora* (Poblaciones derivadas de híbridos por vía de los triploides) como de la especie *C. liberica*. En este último caso se están usando métodos moleculares para introgresar de manera rápida y más eficiente el gen S_H3 , el cual no ha sido utilizado en Colombia (Gonzales et al., 2010). Con esto se espera crear una barrera genética más eficaz contra la roya.



Figura 5.

Etiquetas distintivas de las siete variedades Castillo® regionales, con adaptación específica a diferentes zonas de la región cafetera, liberadas por Cenicafé en 2005.

A más largo plazo se realizan trabajos que buscan implementar nuevos métodos de selección asistida, como los basados en marcadores moleculares ligados a genes de resistencia a roya, que permitan piramidizar la resistencia, esto es, acumular los genes en diferentes líneas, haciendo que sea más difícil para el patógeno romper la resistencia (Herrera et al., 2009; Romero et al., 2010, 2013).

Mejoramiento genético por resistencia a la enfermedad de las cerezas del café (CBD)

La enfermedad de los frutos del café es una antracnosis de las cerezas verdes y maduras, causada por el hongo

Colletotrichum kahawae (Noack), detectada en 1922 en el monte Elgon en Kenia, sobre una plantación de *Coffea eugenioides* (Bail y Jeger, 1992; Van Der Vossen 1985).

El ataque sobre frutos verdes empieza por pequeñas manchas necróticas y oscuras, ligeramente hundidas sobre la superficie del fruto y ubicadas en cualquier sector del mismo. En su interior los granos se tornan negros, de aspecto reseco y se endurecen, y son totalmente destruidos por el patógeno. El pedicelo del fruto también es afectado. Sobre las lesiones se desarrollan pequeños puntos oscuros que son los cuerpos fructíferos del hongo (Acérvulos), pero si prevalecen condiciones ambientales de elevada humedad atmosférica aparecen unas estructuras gelatinosas y rosadas formadas por el conjunto de esporas (Mulinge, 1970; Vermeulen 1979). Los frutos afectados caen con facilidad (Figura 6).

Al considerar la susceptibilidad a la enfermedad en relación con la secuencia natural de los estados de floración y de desarrollo de los frutos, Vermeulen (1979), encontró que los botones florales son susceptibles a la enfermedad y los frutos son muy susceptibles durante la expansión y formación del endospermo (Estado de cereza blanda) y cereza madura (Bail and Jeger, 1992). Sin embargo, en esta última fase los daños no son importantes. Las pérdidas económicas causadas por la enfermedad ocurren durante la fase de expansión del fruto, por lo que el control debe realizarse durante las primeras 22 semanas después de la floración (Muller, 1982).

Descripción de la enfermedad

Las enfermedades más limitantes en la producción de café en el mundo son la roya y la enfermedad de los frutos, esta última conocida como CBD, por sus siglas en inglés “*Coffee Berry Disease*”. Estas enfermedades ocasionan en los países africanos reducciones de la producción de café entre el 20% y 80% (Van Der Vossen, 1985).

Las pérdidas ocasionadas por el CBD han sido variables. En Etiopía, desde su aparición en 1971, las pérdidas se estiman en 18%, pero en algunas áreas han sido superiores al 50% (Meoaku, 1982). En Kenia las pérdidas causadas por CBD se han incrementado a través del tiempo, y se estima que superan el 30% (Masaba et al., 1982). En Uganda son de 35,4% en la región Oeste y del 50% en el Este (Matovo citado por Birikunzira, 1982). Las pérdidas de cosecha en Tanzania varían entre 31% y 68% (Bujulu y Kibani, 1982).

Los años favorables para la enfermedad son aquellos con período de lluvias prolongado y tiempo frío, en los cuales se producen epidemias severas con mermas en

la producción del 50% al 80% (Van der Vossen, 1985). La enfermedad afecta las plantaciones ubicadas por encima de los 1.500 metros de altitud; Van der Vossen (1985), indica que las condiciones climáticas de algunas zonas productivas de café en Latinoamérica son comparables a las condiciones de las regiones cafeteras del oriente del África donde la infección por el CBD es generalmente muy severa.

El CBD se encuentra diseminado por los países productores del África y aún no está presente en América. Sin embargo, debido a las pérdidas que ocasiona, Cenicafe ha desarrollado un programa de selección por resistencia a CBD, en dos fases. La primera mediante preselección en el laboratorio en Portugal (CIFC). La segunda fase mediante el cruzamiento entre fuentes de resistencia, para seleccionar progenies con

Consideraciones prácticas

El control químico del CBD es técnicamente posible en los países africanos. Sin embargo, la topografía irregular con pendientes severas, los altos costos de los fungicidas, los equipos de aspersión y la mano de obra, que son del orden del 30% al 35% de los costos de producción, hacen que esta práctica sea difícil, costosa y poco eficiente (Masaba et al., 1982). Por tal motivo, la producción de variedades resistentes a esta enfermedad constituye la mejor opción en un programa de protección.



Figura 6.

Enfermedad de los frutos del café causada por *Colletotrichum kahawae*.

características agronómicas sobresalientes, pero que requieren comprobación de la resistencia a CBD.

Fuentes de resistencia a CBD

Evaluaciones de campo y laboratorio, realizadas en diferentes países del África, coinciden en señalar a las introducciones Rume Sudan e Híbrido de Timor, como las fuentes con más alta resistencia a CBD (Van Der Vossen y Walyaro, 1980; Van Der Graff, 1981). Otros estudios sobre introducciones de *C. arabica* recolectadas en Etiopía (Guillaumet y Halle, 1978), muestran que la introducción AR.56 es resistente a los aislamientos de Camerún y Zimbabwe (Charrier, 1978).

Estado del mejoramiento para resistencia a CBD en Cenicafé

A partir de la década de 1970, la Disciplina de Mejoramiento Genético inició la evaluación de germoplasma, con miras a la selección de fuentes de resistencia. Ante la imposibilidad de adelantar las pruebas de inoculación en Colombia, se realizó un convenio con *Coffea Research Foundation* (C.R.F.) de Kenia. Los resultados mostraron que los genotipos de mayor interés corresponden al Híbrido de Timor y sus derivados por el cruzamiento con la Variedad Caturra (Castillo, 1978). Ocho de las progenies F4 de Caturra x Híbrido de Timor (C x H. de T.) mostraron una proporción muy baja de plantas susceptibles, y fueron la base para el desarrollo de la variedad Ruirú-II, liberada en Kenia, por su resistencia a CBD y a la roya (Omondi, 1994). Otras introducciones evaluadas, como las variedades K-7 y Jackson 2, presentaron reacciones de mediana resistencia y mediana susceptibilidad, respectivamente.

A partir de 1989 el CIFC, mediante el convenio de cooperación con Cenicafé, ha evaluado genotipos mejorados desarrollados por la Disciplina Mejoramiento Genético, utilizando los cuatro aislamientos del hongo más agresivos.

Los trabajos del CIFC sugieren la existencia de interacción entre aislamientos del patógeno y genotipos del hospedante, lo que indica resistencia específica (Rodrigues, 1990; Rodrigues *et al.*, 1992). Además, confirman la existencia de variación en la resistencia en los derivados de Caturra x Híbrido de Timor. Los resultados muestran que las introducciones Sudan Rumé I.961 e I.969, así como una mezcla de ellas, resultaron susceptibles a los aislamientos con que se inocularon. Los genotipos que muestran resistencia tienen como progenitor el Híbrido de Timor 1343. Muy pocos de los genotipos probados mostraron resistencia al aislamiento de Camerún, lo que indica su agresividad, entre ellos está la progenie

F5, CX1399, derivada de Caturra x Híbrido de Timor, que ha presentado resistencia a todos los aislamientos de CBD.

Las introducciones de la colección de Orstom, evaluadas por Charrier (1978), reportadas como resistentes a CBD, con excepción de la AR.56, resistente a los aislamientos de Camerún y Zimbabwe, fueron susceptibles a los aislamientos probados. La variedad K7, moderadamente resistente en Kenia (Van Der Vossen y Walyaro, 1981), mostró susceptibilidad a todos los aislamientos.

Del germoplasma probado hasta el momento, el Híbrido de Timor y el AR.56 son las únicas introducciones que han mostrado consistencia como fuente de resistencia a CBD. Actualmente, se cuenta con la Variedad Castillo® en la cual el 60% de sus componentes tienen resistencia a por lo menos uno de los aislamientos conocidos del hongo. También se dispone de ocho poblaciones F2, derivadas de cruzamientos entre la línea DG1399 de Castillo y AR56, que están siendo evaluadas en el campo por sus características agronómicas, y en Portugal por la resistencia al CBD. También se dispone de 4 y 25 progenies F4 y F5, respectivamente, de Caturra x Híbrido de Timor con buenas características agronómicas y resistencia al CBD, las cuales se llevarán a evaluaciones regionales.

Finalmente y con el propósito de implementar la selección asistida para este carácter, se han identificado tres marcadores moleculares ligados a la resistencia al CBD, los cuales serán validados en otras poblaciones (Guzmán y Moncada, 2011). Igualmente se han identificado proteínas involucradas en la resistencia al hongo, que servirían para el desarrollo de nuevos marcadores moleculares (Bolívar *et al.*, 2011).

Mejoramiento genético por resistencia a la broca del café



La broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) (Le Pelley, 1968), es el insecto que causa las mayores pérdidas económicas al cultivo de café en el mundo (Bustillo, 2008). En Colombia se registró por primera vez en 1988, en el departamento de Nariño. Las condiciones favorables de clima y la continuidad de la zona cafetera facilitaron su rápida dispersión, debido a que le aseguraron un suministro permanente de alimento a esta plaga, que es un parásito obligado del café y que solo se alimenta del fruto (Bustillo, 2008).

Importancia económica

La broca del café es una plaga que causa diferentes tipos de pérdidas al cultivo del café:

- Caída de frutos inmaduros: Los frutos de café de menos de 90 días caen fácilmente si son atacados por *H. hampei*.
- Pérdidas en el peso de la almendra: Cuando la infestación es alta, son mayores las cantidades de café cereza maduro para conseguir 1,0 kg de café pergamino.
- Deterioro de la calidad, un grano brocado es defectuoso y causa disminución de la calidad organoléptica, es así como cuando una muestra de granos tiene 25% de perforaciones, y ha perdido hasta 30% de su peso, se produce un marcado deterioro en el sabor del café (Puerta, 2000).
- Se estima que en Colombia, el control de la broca equivale a un 7,0% del total de los costos de producción por arroba de café pergamino seco (Duque, 1994).

Estrategia de mejoramiento genético

Actualmente no existen variedades resistentes a la broca del café *H. hampei*. Para el desarrollo de éstas se tienen dos estrategias: **La hibridación y la ingeniería genética**.

En **la hibridación**, se necesita identificar en el germoplasma de café (En plantas de la misma especie o especies genéticamente relacionadas) las fuentes de resistencia. Debido a que estas plantas tienen otros defectos agronómicos o baja producción, no son utilizadas en siembras comerciales, por lo que se emplean como progenitores en cruzamientos con variedades de buenas características agronómicas y adaptadas a la zona. Posteriormente, durante varias generaciones, se realiza selección y evaluación para resistencia a broca y otras características de interés, con el fin de obtener variedades resistentes, que cumplan con las exigencias de productividad y calidad.

En la segunda estrategia, **la ingeniería genética**, es necesario identificar la proteína insecticida utilizando pruebas *in vitro*, en las cuales en tubos de ensayo se incuban extractos de plantas (Fuente de proteínas) con extractos del insecto, y se determina cuáles son los más efectivos para su control (Molina *et al.*, 2011). Posteriormente, estas proteínas se evalúan en pruebas *in vivo* (Bioensayos) en dietas artificiales donde las larvas del insecto se alimentan con las proteínas insecticidas y se evalúa la mortalidad. Como cada proteína es determinada por un único gen, se aísla el gen que codifica la proteína insecticida más efectiva, que puede provenir de una especie genéticamente diferente de la especie blanco (En este caso, café), estos genes denominados heterólogos se incorporan por transformación genética a variedades comerciales, las cuales al igual que en hibridación poseen buenas características agronómicas.

Durante el proceso se evalúa la presencia, estabilidad y expresión del gen utilizando pruebas bioquímicas, enzimáticas y moleculares. También, se analizan las características agronómicas y de calidad de las plantas transformadas, y su inocuidad sobre los seres vivos y el ambiente (Resolución ICA 2492 de 2010), esto garantizará que sean similares a las variedades cultivadas y que el gen de resistencia incorporado no afecte ninguna de sus características.

Consideraciones prácticas

En Colombia, para un control eficiente de la broca se ha establecido un manejo integrado que incluye recolección de frutos, aplicación de insecticidas y el empleo del hongo *Beauveria bassiana* (Bustillo *et al.*, 1998); sin embargo, el control de *H. hampei* en áreas con temperatura media superior a 21°C depende principalmente del uso de insecticidas. Esto justifica otras estrategias de control como el desarrollo de variedades resistentes.

Fuentes de resistencia a la broca

Para la obtención de plantas de café resistentes a la broca mediante hibridación, desde el año 1993, se inició la evaluación de la Colección Colombiana de Café de Cenicafé⁵. Se identificaron introducciones Etiópicas y de *C. liberica* con menor oviposición y menor número de individuos por grano comparados con Caturra (Figura 7) (Romero y Cortina, 2004, 2004a, 2007), las cuales se están utilizando como progenitores en programas de hibridación con variedades comerciales. Actualmente, se evalúan poblaciones F2.

Para la obtención de plantas transgénicas de café resistentes a la broca se identificaron y evaluaron *in vitro* e *in vivo* proteínas insecticidas como quitinasas y quitobiosidasas (Góngora, 1999), inhibidores de alfa amilasas (Valencia *et al.*, 2000; Góngora y Acuña, 2008) e inhibidores de aspártico proteasas (Molina *et al.*, 2010; Molina *et al.*, 2011). Posteriormente, los genes que

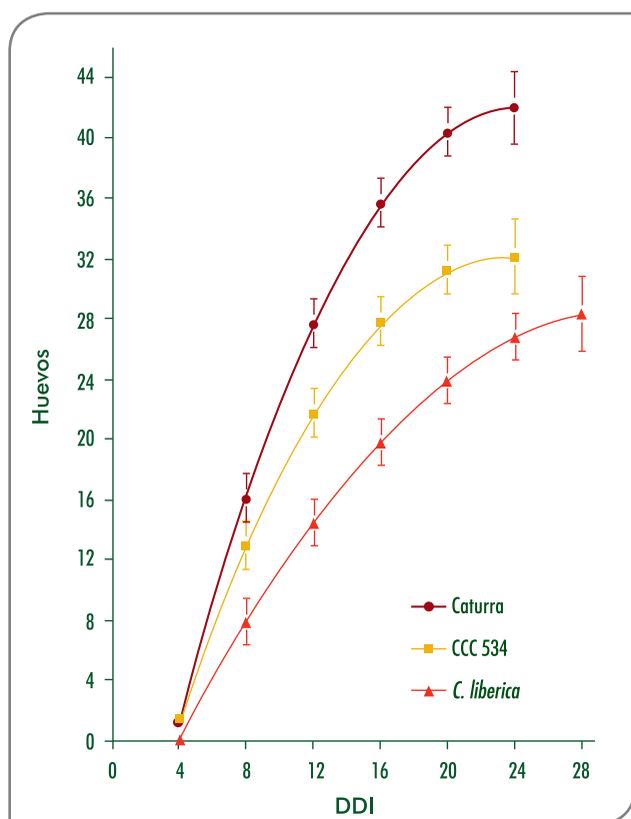


Figura 7.

Oviposición acumulada de hembras de *H. hampei* criadas en Variedad Caturra y en dos introducciones. Las líneas verticales representan los intervalos de confianza para la media (P=95%).

codifican estas proteínas insecticidas se incorporaron a las plantas de café, con la finalidad de que sean resistentes a la broca. En la actualidad, las plantas transformadas se están evaluando para determinar la presencia, estabilidad y expresión de los genes heterólogos, debido a que es posible que el gen esté presente en la planta pero no sea funcional (Que no se exprese). Una vez estas plantas produzcan granos se evaluará su efecto sobre la broca del café y sus características agronómicas y de calidad. Se espera que éstas sean similares a las variedades comerciales, al igual que su inocuidad sobre los seres vivos y el ambiente.

Variedades producidas en Cenicafé

A continuación se describen las características de las variedades mejoradas que han sido producidas por Cenicafé, y que son la base de la caficultura actual. Su uso ha permitido que los Caficultores Colombianos puedan afrontar oportunamente y de manera amigable con el ambiente, la principal enfermedad del café como lo es la roya del cafeto.

Variedad Colombia



Es la primera variedad compuesta liberada por Cenicafé. Se obtuvo a partir del cruzamiento de Caturra por el Híbrido de Timor, y se entregó a los caficultores en 1980, 3 años antes de la llegada de la roya al país (Castillo y Moreno, 1987).

- **Características.** Brotes de color verde y bronce. Los componentes iniciales de esta variedad tenían frutos de color amarillo y rojo. Posteriormente, se retiraron los componentes amarillos.
- **Producción.** Las progenies iniciales de la var. Colombia se seleccionaron por producción y morfología

⁵MONCADA B., M del P. 1993. Búsqueda de fuentes de resistencia a la broca *Hypothenemus hampei*, en germoplasma de café. Proyecto de investigación MEG0800. Disciplina mejoramiento genético. Cenicafé.

similares a Caturra. Posteriormente, se seleccionó por productividad superior a Caturra con control de roya, alcanzando ganancias del 15%. Desde 1982 a 2002, esta variedad produjo un promedio de c.p.s. de 451,2 @.ha-año⁻¹ en los campos productores de semilla.

- **Características del grano.** Los primeros componentes tuvieron un porcentaje de café supremo de 52,8%, con valores mínimos y máximos de 38,3% y 75,1%, respectivamente. Posteriormente, como resultado de la selección y debido a la sustitución por nuevos componentes, el promedio de café supremo alcanzó el 83,0%, con un rango entre 70,0% y 92,0%, valor superior al de la variedad Típica (75,0%).

Como resultado de la sustitución de progenies, la proporción de grano caracol se redujo de 11,2% a 7,0%, mientras que el porcentaje de café supremo se incrementó de 52,8% a 83,0%.

- **Calidad de la bebida.** En los años 1980 y 1982, los progenitores de los primeros componentes de la variedad Colombia fueron evaluados por paneles de catación de la Oficina de Calidades y de Buencafé Liofilizado de Colombia en Chinchiná y por la casa Hans Newman de Alemania. Los resultados mostraron que no existían diferencias entre la calidad de la bebida de las progenies de la variedad Colombia y las variedades de la especie arábica, reconocidas en el mundo por su buena calidad (Castillo y Moreno, 1987).

En 1994, nuevas progenies F5 y F6 fueron evaluadas por calidad en taza, por paneles de catación de Colombia, Canadá, Estados Unidos e Inglaterra. Los análisis mostraron que la variedad Colombia y Típica, corresponden a cafés suaves con buen cuerpo y acidez aceptable. La variedad Caturra mostró alta acidez (Acidez cítrica), mientras que la variedad Borbón fue calificada como de taza limpia. La taza de las muestras analizadas de las cuatro variedades correspondió a cafés suaves (Moreno et al., 1997).

- **Resistencia a enfermedades.** Progenies F3 con resistencia a la roya del café que dieron origen a la variedad Colombia, fueron evaluadas en Kenia y presentaron resistencia a la enfermedad de las cerezas del café (CBD). Estas progenies fueron utilizadas por Kenia como uno de los progenitores de la variedad Ruiru II, con resistencia a Roya y CBD (Walyaro et al., 1982; Opilé, 1993).

La variedad Colombia cambió en su composición con el propósito de mantener su resistencia a roya, mejorar su tamaño de grano y su productividad (Alvarado, 2002) (Tabla 2). En el 2005, se encontraban sembradas 255.000 hectáreas que representaban el 28% del área nacional cultivada.

La adopción por parte de los caficultores de la primera variedad resistente a la roya fue determinante para la reducción de costos de producción y, por ende, para la competitividad del café de Colombia, debido al ahorro que representó no usar fungicidas para controlar esta enfermedad (Farfán, 1998). La semilla de esta variedad se distribuyó por la Federación Nacional de Cafeteros a los caficultores hasta el año 2005, cuando fue reemplazada por la Variedad Castillo®.

Variedad Castillo®



Es una variedad compuesta, con 29 progenies, resistente a la roya, desarrollada a partir del cruzamiento de Caturra por el Híbrido de Timor. Posee diversidad genética para resistencia a la roya, que se traduce en estabilidad de la misma. Permite su siembra tanto en zonas donde la roya del café reduce la producción, como en aquellas donde la enfermedad no tiene mayor incidencia. En estas regiones los productores se benefician por la mayor producción, el mayor tamaño del grano y de la tolerancia a la enfermedad de las cerezas del café, en caso de su llegada al país (Alvarado et al., 2005a).

- **Crecimiento** Las progenies se seleccionaron por tener a los 41 meses de siembra, una altura media de planta de 2,2 m. Frutos rojos y brotes de color verde y bronce.
- **Producción.** Producción media de 578 @.ha-año⁻¹ de c.p.s.
- **Características del grano.** Frutos vanos menores o igual al 6%, proporción de grano caracol menor o igual a 11%, y café supremo mayor a 80%.
- **Calidad de la bebida.** Igual a la de las variedades Caturra y Borbón, consideradas entre las de mejor aceptación en *Coffea arabica*.
- **Resistencia a enfermedades.** Tiene tolerancia a la enfermedad de las cerezas del café (CBD) causada

Características Agronómicas	1980	2002
Producción (@.ha-año ⁻¹ de c.p.s.)	460	631
Rango	426 - 546	508 - 702
Producción var. Caturra	470	550
Producción relativa (%)	102	115
Grano vano %	4,4	4,0
Rango	2,3 - 6,2	2,0 - 6,0
Grano caracol %	11,2	7,0
Rango	7,3 - 14,8	3,0 - 10,0
Café supremo (>17/64)	52,8	83,0
Rango	38,3 - 75,1	70,0 - 92,0
No. de constituyentes	23 frutos rojo 27 frutos amarillo	41 frutos rojo
No. de componentes con producción mayor que Caturra	0 (0,0%)	11 (26,8)
No. de componentes con resistencia incompleta a la roya	31 (70%)	35 (85,4%)
No. de componentes con probable tolerancia al CBD	?	22 (53,7%)
Calidad en taza	No existen diferencias entre la calidad de la bebida de las progenies componentes de la var. Colombia y las demás variedades de <i>C. arabica</i> . Éstos forman grupos homogéneos. Las diferencias entre acidez, cuerpo y aroma son indistinguibles.	Páneles nacionales e internacionales no hallaron diferencias en la calidad en taza entre componentes de var. Colombia y las var. Típica, Borbón y Caturra, calificadas como excelentes. Los análisis uni y multivariado, indican que conforman grupos homogéneos con las variedades tradicionales de <i>C. arabica</i> . En las características físicas, especialmente tamaño del grano, la variedad Colombia es superior a la var. Típica, considerada como una de las mejores.

Tabla 2.

Composición inicial y final de la variedad Colombia. Principales atributos (Avance Técnico Cenicafé No. 304).

por *Colletotrichum kahawae*. El 60% de sus progenies muestran resistencia a por lo menos uno de los cuatro aislamientos de CBD utilizados en las pruebas en el CIFC.

Variedades Castillo® Regionales

Las evaluaciones regionales de los componentes de la Variedad Castillo® general permitieron la selección de las progenies más productivas en cada sitio, las cuales conformaron las variedades regionales, para ser usadas en las áreas de influencia de los sitios de selección. Las variedades regionales derivadas de la Variedad Castillo® son:

Consideraciones prácticas

La Variedad Castillo® es apta para todos los ambientes donde se desarrolla la caficultura en Colombia, no requiere aplicaciones de fungicidas contra la roya y permite la implementación de una caficultura sostenible y de calidad (Alvarado et al., 2005).



Variedad Castillo® Naranjal. Está compuesta por 11 progenies seleccionadas en la Estación Central Naranjal, localizada en el municipio de Chinchiná (Caldas) y en el Ecotopo Cafetero 206A (Gómez *et al.*, 1991), en el cual por condiciones ambientales y de suelos similares están incluidos los municipios para los que se recomienda su siembra (Tabla 3).

La productividad de las progenies que conforman la Variedad Castillo® Naranjal, en relación a la variedad Colombia, es 114,1%. En cuanto a las características de grano esta variedad se compone de 5,0% de vanos, 6,3% de caracol y 82,5% de supremo. En promedio su productividad es de 726 @.ha-año⁻¹ de c.p.s. (Tabla 3).

Información más detallada sobre la Variedad Castillo® Naranjal se encuentra en el Avance Técnico Cenicafé No. 338 (Alvarado *et al.*, 2005b).



Variedad Castillo® Paraguaicito. Está compuesta por diez progenies seleccionadas en la Estación Experimental Paraguaicito de Cenicafé, localizada en el municipio de Buenavista (Quindío), en el Ecotopo Cafetero 211A (Gómez *et al.*, 1991), en el cual por condiciones ambientales y de suelos similares están incluidos los municipios para los que se recomienda su siembra (Tabla 4).

Ecotopo	Departamento	Municipios
E-106B	Caldas	Supía, Riosucio
	Risaralda	Quinchía, Guática
E-107B	Caldas	Anserma, Risaralda
	Risaralda	Belén de Umbría, Apía
E-108B	Risaralda	Santuario, La Celia
	Valle	El Águila, Ansermanuevo
E-205A	Caldas	Manizales, Neira, Filadelfia
E-206A	Caldas	Palestina, Chinchiná, (Naranjal ●)
	Risaralda	Marsella
E-207A	Caldas	Villamaría
	Risaralda	Sta. Rosa de Cabal, Dosquebrada
E-208A	Quindío	Calarcá, Armenia, Salento
E-209A	Risaralda	Pereira
	Valle	Alcalá, Ulloa

Tabla 3.

Áreas cafeteras para la producción de la Variedad Castillo® Naranjal (Avance Técnico Cenicafé No. 338).

Ecotopo	Departamento	Municipios
E-210A	Quindío	Quimbaya, Montenegro, Armenia, Circasia, Filadelfia, La Tebaida
E-211A	Quindío	Calarcá, Córdoba, Pijao, Génova, Buenavista (Paraguaicito ●)
E-212A	Valle del Cauca	Cartago, Obando, La Victoria, Zarzal
E-212A	Valle del Cauca	Sevilla, Caicedonia
E-212A	Valle del Cauca	Tuluá, Buga la grande, Buga, San Pedro, Andalucía

Tabla 4.

Áreas cafeteras para la producción de la Variedad Castillo® Paraguaicito. (Avance Técnico Cenicafé No. 339).

En promedio, la productividad de las progenies que conforman la variedad Castillo® Paraguaicito es del 111,4%, en comparación con la producción de la variedad Colombia. En cuanto a las características de grano esta variedad está compuesta por 4,3% de vanos, 6,7% de caracol y 80,8% de supremo. En promedio su productividad es de 429,5 @.ha-año⁻¹ de c.p.s.

Información más detallada sobre la Variedad Castillo® Paraguaicito se encuentra en el Avance Técnico Cenicafé No. 339 (Alvarado *et al.*, 2005c).



Variedad Castillo® El Rosario.

Está compuesta por diez progenies seleccionadas en la Estación Experimental El Rosario de Cenicafé, localizada en el municipio de Venecia (Antioquia) y en el Ecotopo Cafetero 203A (Gómez *et al.*, 1991), en el cual por condiciones ambientales y de suelos similares están incluidos los municipios para los que se recomienda su siembra (Tabla 5).

La productividad de las progenies que conforman la Variedad Castillo® El Rosario relativa a la variedad

Colombia, representa el 117,8%. En cuanto a las características de grano esta variedad está compuesta por 5,1% de vanos, 6,5% de caracol y 83,2% de supremo. En promedio, su productividad es de 380,9 @.ha-año⁻¹ de c.p.s.

Información más detallada sobre la Variedad Castillo® El Rosario se encuentra en el Avance Técnico Cenicafé No. 340 (Alvarado *et al.*, 2005d).



Variedad Castillo® Pueblo Bello.

Está compuesta por cuatro progenies seleccionadas en la Estación Experimental del mismo nombre, localizada en el municipio de Pueblo Bello (Cesar), en el Ecotopo Cafetero 402 (Gómez *et al.*, 1991), en el cual por condiciones ambientales y de suelos similares, están incluidos los municipios para los que se recomienda su siembra (Tabla 6).

En promedio, la productividad de las progenies que conforman la Variedad Castillo® Pueblo Bello, en comparación con la producción de la variedad Colombia es 113,5%. En cuanto a las características de los granos,

Ecotopo	Departamento	Municipios
E-102A	Risaralda	Mistrató, Publo Rico
E-101B	Antioquia	Ituango, Santa Fe de Antioquia, Caicedonia, Peque, Buritica, Giraldo
E-102B	Antioquia	Bolívar, Betulia, Anzá, Hispania
E-103B	Antioquia	Concordia, Salgar
E-104B	Antioquia	Andes, Betania
E-105B	Antioquia	Támesis, Jardín, Jericó, Pueblo Rico, Tarso, Caramanta, Valparaiso
E-201A	Antioquia	Ebéjico, Liborina, Toledo, Sopetrán, Sabanalarga, San Andrés, Briceño
E-202A	Antioquia	Heliconia, Titiribí, Armenia, Angelópolis
E-203A	Antioquia	Fredonia, Venecia (El Rosario ●), Amagá, Caldas
E-204A	Antioquia	Abejorral, Sonsón, Santa Bárbara, Montebello, La Ceja, El Retiro
	Caldas	Aguadas, Pácora, Salamina, Aranzazu, La Merced
E-201B	Antioquia	Amalfi, Angostura, Santa Rosa de Osos, Gómez Plata, Guadalupe, Vegachí
E-202B	Antioquia	Yolombó, Yali, Cisneros, Maceo
E-203B	Antioquia	Barbosa, Medellín, Girardota, Copacabana, Bello, Sabaneta

Tabla 5.

Áreas cafeteras para la producción de la Variedad Castillo® El Rosario (Avance Técnico Cenicafé No. 340).

esta variedad está compuesta por 6,5% de vanos, 6,7% de caracol y 84,1% de supremo. En promedio su productividad es de 327,3 @.ha-año⁻¹ de c.p.s.

Información más detallada sobre la Variedad Castillo® Pueblo Bello se encuentra en el Avance Técnico Cenicafé No. 341 (Alvarado et al., 2005e)



Variedad Castillo® Santa Bárbara.

Está compuesta por siete progenies seleccionadas en la Estación Experimental del mismo nombre, localizada en el municipio de Sasaima (Cundinamarca), en el Ecotopo Cafetero 311A (Gómez et al., 1991), en el cual, por condiciones ambientales y de suelos similares están incluidos los municipios para los que se recomienda su siembra (Tabla 7).

En promedio la productividad de las progenies que conforman la Variedad Castillo® Santa Bárbara en comparación con la producción relativa de la variedad Colombia es 117,9%. En cuanto a las características de los granos esta variedad se compone de 3,8% de vanos, 5,7% de caracol y 81,9% de supremo. En promedio su productividad es de 185 @.ha-año⁻¹ de c.p.s.

Información más detallada sobre la Variedad Castillo Santa Bárbara® se encuentra en el Avance Técnico Cenicafé No. 342 (Alvarado et al., 2005f)



Variedad Castillo® La Trinidad.

Está compuesta por cuatro progenies seleccionadas en la Estación Experimental Líbano de Cenicafé, localizada en el municipio de Líbano (Tolima) y en el

Ecotopo	Departamento	Municipios
E-401	Magdalena	Ciénaga, Fundación, Santa Marta, Aracataca
E-402	Cesar	Valledupar, Pueblo Bello (Pueblo Bello ●), El Copey
	La Guajira	Riohacha, Barrancas, Fonseca, San Juan del Cesar
E-403	Magdalena	Santa Marta
	La Guajira	Riohacha
E-301A	La Guajira	Urumita, Villanueva
	Cesar	Augustín Codazzi, Robles, La Jagua de I., Manaure, San Diego, Becerril, Chiriguaná, Aguachica, San Martín
E-301B	Norte de Santander	El Carmen
	Norte de Santander	Convención, San Calixto, Teorama, Hacarí, El Tarra, Ocaña, La PLayera, Ábrego
	Cesar	González, Río de Oro

Tabla 6.

Áreas cafeteras para la producción de la Variedad Castillo® Pueblo Bello (Avance Técnico Cenicafé No. 341).

Ecotopo	Departamento	Municipios
E-301A	Boyacá	San Pablo de Borbur, Tununguá, Briceño, Pauna, Maripí, Muzo, Buenavista, Coper
	Cundinamarca	Yacopí, Paime, La Palma, Topaipí, Caparrapí, San Cayetano, Villagómez, El Peñon, Pacho
E-311A	Cundinamarca	Vergara, Supatá, La Vega, San Francisco, Sasaima, (Santa Bárbara ●), Villeta, Albán

Tabla 7.

Áreas cafeteras para la producción de la Variedad Castillo® Santa Bárbara (Avance Técnico Cenicafé No. 342).

Ecotopo Cafetero 207B (Gómez et al.,1991), en el cual por condiciones ambientales y de suelos similares, están incluidos los municipios para los que se recomienda su siembra (Tabla 8).

La productividad de las progenies que conforman la Variedad Castillo® La Trinidad en comparación con la producción de la variedad Colombia es 109,1%. En cuanto a las características de los granos esta variedad se compone de 4,1% de vanos, 6,7% de caracol y 82,4% de supremo. En promedio su productividad es de 432,5 @.ha-año⁻¹ de c.p.s.

Información más detallada sobre la Variedad Castillo La Trinidad® se encuentra en el Avance Técnico Cenicafé No. 343 (Alvarado et al., 2006)



Variedad Castillo® El Tambo. Está compuesta por siete progenies seleccionadas en la Estación Experimental Manuel Mejía de Cenicafé, localizada en el municipio de El Tambo (Cauca) y en el Ecotopo Cafetero 218A (Gómez et al.,1991), en el cual por condiciones ambientales y de suelos similares, están incluidos los municipios para los que se recomienda su siembra (Tabla 9).

Analizados cuatro años de cosecha, siete progenies presentaron entre 5% y 17% de mayor producción que la variedad Caturra. En promedio la productividad relativa a la variedad Caturra es 110%. Las características de grano de las progenies seleccionadas que conforman la Variedad Castillo® El Tambo son 5,54% de vanos, 5,81% de caracol y 84,3% de supremo. En promedio, su productividad es de 268,4 @.ha-año⁻¹ de c.p.s.

Información más detallada sobre la Variedad Castillo® El Tambo se encuentra en el Avance Técnico Cenicafé No. 344 (Posada et al., 2006).

Variedad Tabi



Es una variedad compuesta resistente a la roya proveniente de la selección de progenies de los cruzamientos entre las variedades Típica y Borbón y el Híbrido de Timor, cuyo nombre en el dialecto guambiano significa “bueno” (Moreno, 2002b).

- **Crecimiento vegetativo.** Es de porte alto, sobresale por su vigor vegetativo. Dependiendo del ambiente, las plantas pueden alcanzar a los 24 meses de edad una altura entre 2,0 y 2,4 m y entre 1,9 y 2,1 m de ancho. Sus brotes son de color verde y bronce, y frutos de color rojo.
- **Producción.** La mayoría de las progenies de generación avanzada fueron iguales en producción al mejor testigo, la variedad Borbón con control químico. Las progenies mostraron una capacidad de producción notablemente alta, que varió entre 272 y 169 @.ha-año⁻¹ de c.p.s. en Santander y en Pueblo Bello, respectivamente
- **Características del grano.** Tamaño de grano grande, superior al 80% de café supremo. Granos vanos menos del 4%, caracol menos de 10%.
- **Calidad de la bebida.** Igual a la de las variedades Típica y Borbón, consideradas entre las de mejor aceptación en *Coffea arabica*.

Ecotopo	Departamento	Municipios
E-207B	Tolima	Libano, (La Trinidad ●), Lérica
E-208B	Tolima	Anzoátegui, Venadillo, Santa Isabel, Alvarado
E-209B	Tolima	Ibagué, Rovira, Ortega, Cajamarca, Valle de San Juan, San Luis, Roncesvalles, San Antonio

Tabla 8.

Áreas cafeteras para la producción de la Variedad Castillo® La Trinidad (Avance Técnico Cenicafé No. 343).

Ecotopo	Departamento	Municipios
E-106A	Cauca	El Tambo (parte), Argelia
	Nariño	Leiva, Cumbitara, Policarpa, Ricaurte, Mallama
E-112B	Valle del Cauca	Cali (sur), Jamundí
	Cauca	Buenos Aires (parte), Suárez, Morales (parte), Cajibío (parte), El Tambo, (parte)
E-113B	Cauca	El Tambo (parte), El Bordo, Balboa
	Nariño	Leiva (parte), El Rosario
E-215A	Valle del Cauca	Guacarí, Ginebra, El Cerrito, Palmira, Pradera, Candelaria, Florida
	Cauca	Miranda, Puerto Tejada, Corinto, Padilla
E-216A	Cauca	Toribío, Jambaló
E-217A	Cauca	Buenos Aires (parte), Caloto, Santander de Quilichao, Caldono (parte)
E-218A	Cauca	Caldono (parte), Morales (parte), Piendamó, Cajibío (parte), Totoró, Popayán, El Tambo (parte), El Timbío (parte)
E-219A	Cauca	El Timbío (parte), Sotará, El Tambo (Quilcacé), Rosas, La Sierra, La Vega, Almaguer, Bolívar, San Sebastián, Mercaderes
E-220A	Nariño	San Pablo, Génova, La Unión, La Cruz, Taminango, San José de Albán, San Lorenzo, Arboleda, El Tablón, Buesaco
E-221A	Nariño	Sotomayor, El Tambo, Linares, Samaniego, La Florida, Sandoná, Ancuya, Santa Cruz, Pasto, Consacá, Guaitarilla, Yacuanquer, Túquerres, Tangua, Imués, Funes, Lles
E-210B	Tolima	Chaparral, Rioblanco, (Herrera), Ataco (parte), Planadas (Gaitania)
E-211B	Tolima	Coyaima, Natagaima, Ataco (parte), Planadas (Gaitania)
	Huila	Aipe, Neiva (parte occidental), Santa María, Palermo
E-212B	Huila	Teruel, Íquira, Nátaga, Tesalia

Tabla 9.

Áreas cafeteras para la producción de la Variedad Castillo® El Tambo (Avance Técnico Cenicafé No. 344).

- **Zonas de siembra recomendadas.** Regiones del país con veranos prolongados, brillo solar alto y empleo de sombrío o semi-sombrío.

La información más detallada sobre la variedad Tabi se encuentra en el Avance Técnico de Cenicafé No. 300 (Moreno, 2002).

Variedad resistente a llaga macana

Proveniente del cruzamiento entre la variedad Caturra y una selección de Borbón resistente al hongo *Ceratocystis fimbriata* (Castillo, 1999; Castro y Cortina, 2002).

- **Crecimiento vegetativo.** Progenies de porte bajo y susceptibles a la roya. Su altura a los 36 meses está entre 1,4 y 1,5 m, igual a la de la variedad Caturra. Brotes de color verde y frutos rojos.
- **Producción.** El primer año la producción de las progenies en lotes experimentales varió desde 258 hasta 469 @.ha-año⁻¹ de c.p.s.
- **Características del grano.** El tamaño de grano de las progenies, expresado como la proporción de café supremo, estuvo entre 39% y 50%, menor que los promedios registrados en la variedad Borbón resistente a llaga macana (58%) y en las variedades Caturra (69%) y Colombia (83%).

- **Calidad de la bebida.** Igual a la de las variedades Caturra y Borbón, consideradas entre las de mejor aceptación en *Coffea arabica*.
- **Zonas de siembra recomendadas.** Lotes con alta pendiente, en los cuales la roya no sea limitante.

Información más detallada sobre la variedad resistente a la llaga macana se encuentra disponible en el Avance Técnico de Cenicafé No. 377 (Castro y Cortina, 2008).

Con el fin de ofrecer una variedad que combine la resistencia a la roya y a llaga macana, actualmente se están evaluando progenies F4 de cruzamientos entre derivados del Híbrido de Timor y líneas derivadas de Borbón resistente a la llaga.

Otras variedades de café arábica en el mundo

Además de las variedades desarrolladas por Cenicafé, existen otras variedades de *Coffea arabica* que han sido ampliamente cultivadas en Colombia y en otros países productores. A continuación se presentan una descripción de su origen y sus principales características.

Típica. Fue la variedad usada por Linneo para describir la especie. Las primeras introducciones de café en América fueron hechas con esta variedad, proveniente del Yemen, vía Amsterdam, y de allí a Surinam o a las Antillas. Con ella se inició la caficultura en el país y en América Latina, donde recibió diversos nombres en los países en que fue sembrada: Arábica, Nacional, Pajarito y Pluma Hidalgo, entre otros. Es una variedad de entrenudos largos que le dan un porte alto, el ángulo de las ramas es abierto (67°), los frutos pueden ser rojos o amarillos, el brote es bronce y es susceptible a la roya. Su grano es de los de mayor tamaño dentro de las variedades cultivadas (63% a 72% de café supremo), y la calidad en taza excelente (Orozco, 1986). Es la variedad más difundida en el mundo. En el país hay sembradas 84.234 ha (9,1% del área cafetera nacional), los departamentos con mayor área son Cesar, Tolima, Cundinamarca, Norte de Santander, Magdalena y Valle, en sistemas de caficultura tradicional (SICA, Septiembre de 2012).

Borbón. Es originaria de la Isla de la Reunión (Antes Borbón), de unas pocas semillas provenientes del Yemen. Introducida a América Latina por los franceses, a Colombia llegó en 1928. Es de porte alto, el ángulo de las ramas (58°) es más estrecho que en Típica, el brote es verde, el fruto es rojo o amarillo, el grano es pequeño (50%

a 42% de café supremo) y su calidad en taza es similar a la de Típica. Es una variedad altamente productiva (Triana, 1955). Una planta de esta variedad encontrada en la Colección Colombiana de Café resultó resistente a la llaga macana (*Ceratocystis fimbriata* Ell. Halst Hunt), dando origen a las selecciones de borbón resistentes a macana, que han sido usadas en cruzamientos (Castillo, 1965; Castillo y Quiceno, 1970). Por su productividad, reemplazó en una alta proporción a la variedad Típica en América Central, el Caribe y Brasil. En los años de 1951 a 1953, el Centro Nacional de Investigaciones de Café repartió semillas de esta variedad principalmente en el departamento de Caldas (Viejo Caldas) (Castillo y Quiceno, 1968; Triana, 1955).

Amarillo Chinchiná. Se obtuvo de selecciones de la variedad Borbón, tiene características intermedias entre Típica y Borbón, y el tamaño de sus granos es mayor que el de Borbón. Posee un alto potencial productivo (Castillo, 1977).

Mundo Novo. Es la variedad de *C. arabica* más cultivada y productiva en el Brasil. Se originó probablemente de un cruzamiento entre el Nacional “Sumatra” (Típica) y Borbón. El mismo cruzamiento dio origen al Híbrido del Salvador (Salvador), al híbrido Tico (Costa Rica), y a la Variedad Garnica (México). Presenta órganos con características similares al Típica pero más vigorosos y hojas de mayor tamaño. En Colombia tiene producciones similares al Borbón. El tamaño del grano es comparable al de Típica. Es uno de los progenitores de la variedad Catuai (Castillo y Quiceno, 1968; Orozco, 1986).

Caturra. Se originó por una mutación espontánea observada por primera vez en el Estado de Minas Gerais (Brasil), en una plantación de Borbón (Krug *et al.*, 1949). Se destaca por el porte bajo de sus plantas, característica controlada por un gen dominante (Ct/Ct), que acorta la longitud de los entrenudos del tallo y de las ramas (Krug y Carvalho, 1951). Fue introducida a Colombia en 1952 y se difundió a partir de 1970 (Castillo, 1990). Muy similar a la variedad Borbón pero de entrenudos cortos, lo que le da un porte bajo y crecimiento compacto, de alta productividad, las hojas son verde intenso, el brote es verde, el fruto puede ser rojo o amarillo, el grano es medio (60% de café supremo) (Krug *et al.*, 1950). Tiene buena calidad en taza, pero es susceptible a la roya. Con esta variedad se inició el cultivo intensivo en Colombia: libre exposición, altas densidades y uso de fertilizantes (Castillo, 1990). Es un mutante de mucha importancia económica por su alta producción por unidad de área. Según el SIC@ 2012, se siembra en 378.000 ha (40,7% del área cafetera), los departamentos con mayor área son Antioquia, Tolima, Huila y Valle.

Por sus excelentes características ha sido el progenitor en diferentes cruzamientos para el desarrollo de variedades, especialmente con el Híbrido de Timor, para obtener variedades con resistencia a la roya como Colombia, Castillo y algunos componentes de la variedad Tabi.

Las variedades Villa Sarchí, Luisa y Borbón Villalobos (Costa Rica) y Pacas (El Salvador) son variedades provenientes de la misma mutación de la variedad de Borbón, encontradas en Centroamérica, son similares a Caturra, y poseen el mismo gen dominante (Ct₋) para enanismo (Castillo, 1977; Orozco, 1986).

Catuaí. Línea proveniente del cruzamiento entre las variedades de *C. arabica*: Caturra y Mundo Novo, hecho en el Brasil (1972) y seleccionada por su vigor y porte bajo. Las características externas de la planta son similares a las de Caturra, pero es más vigorosa. En Colombia no ha sobrepasado las producciones del Caturra. En el Brasil se cultiva comercialmente pues se adaptó mejor que el Caturra a los períodos secos (Orozco, 1986). Esta variedad también es extensamente sembrada en Centroamérica, donde también se siembra Garnica, una variedad de origen similar, retrocruzamientos de Catuaí a Mundo Novo dieron origen a las variedades Oro verde, Rubí y Topacio, con sus variantes (Bertrand, 1999).

San Bernardo. El café San Bernardo es originario de Guatemala, donde se conoce con el nombre de Pache. Su porte reducido y entrenudos cortos están controlados por un gen dominante (Sb), consecuencia de una mutación en la variedad Típica. Sus hojas, flores y frutos son similares a los de la variedad Típica. En promedio, produce un 80% de semillas de tamaño grande (Diámetro mayor de 17/64 de pulgada). La producción de esta variedad es baja, debido a su escaso vigor vegetativo y número reducido de inflorescencias (Glomérulos) por axila foliar, característica derivada de la variedad Típica. Se cultiva comercialmente en Centroamérica (Castillo y Moreno, 1976).

San Ramón. Variedad de *C. arabica*, originaria de la región de San Ramón, en Costa Rica. Se caracteriza por el porte pequeño de sus arbustos, el crecimiento lento y por tener entrenudos extremadamente cortos y ramas laterales de tamaño reducido, lo que le da un aspecto muy compacto a la planta. Las hojas son anchas elípticas, un poco onduladas en su lámina y generalmente asimétricas, el fruto es pequeño y el rendimiento bajo. En general, las plantas son poco uniformes en tamaño (Carvalho, 1958; Choussy, 1956).

Villalobos. Plantas encontradas en Costa Rica en poblaciones de Típica. Son de porte pequeño similar a Caturra, entrenudos cortos y poco crecimiento. Es comercial en algunas regiones de Centroamérica. Posee

flores y frutos similares a Típica (Carvalho *et al.*, 1984; Castillo, 1977).

Icatú. Se obtuvo en Brasil en 1992, por hibridación interespecífica entre la especie *C. canephora*, a la cual se le habían duplicado los cromosomas, y la variedad Borbón y su retrocruzamiento a la variedad Mundo Novo y posterior selección. Es una variedad de porte alto, vigorosa y de alta producción (semejante en Brasil a la de la variedad Mundo Novo), y con resistencia a la roya derivada de *C. canephora*. Aunque en los últimos años, con la aparición de nuevas razas, ha sido susceptible o moderadamente susceptible. También se menciona como fuente de resistencia a nematodos y a la enfermedad de los frutos del café. Los brotes pueden ser verde o bronce. Es de buena calidad en taza. Esta variedad no ha sido sembrada comercialmente en Colombia (Fazuoli *et al.*, 1983).

Maragogipe. Mutante de la variedad Típica seleccionado en Brasil (1870) en el municipio de Maragogipe, tiene gran tamaño de grano y menor producción que las variedades Típica y Borbón. El carácter maragogipe se debe a un gen dominante (Mg₋) que afecta todos los órganos de la planta (pleiotropía). El mutante Pretoria es del mismo origen y similar a Maragogipe. Esta variedad presenta en todos sus caracteres, dimensiones mayores que las otras variedades de *C. arabica*: Entrenudos largos, ángulo de la rama muy amplio, ramificación secundaria y terciaria escasa, hojas pendientes y grandes de base obtusa, ápice acuminado y lámina coriácea ondulada. Las flores son grandes, los frutos alargados, grandes y de disco saliente de color amarillo y rojo. La característica de frutos grandes llamó la atención en un principio a los cultivadores, pero luego hubo decepción, debido a la baja productividad y a los problemas para su despulpado. Sus características se deben a un par de alelos dominantes (Krug y Carvalho, 1942; Krug *et al.*, 1950).

Laurina. Mutante de *C. arabica* originario de la Isla de la Reunión (Borbón), donde tomó la denominación de café Leroy, por su descubridor. También se conoce como *Bourbon pointu* y *Tight grown*. Las características de Laurina se le atribuyen a un gen recesivo (lr), con efecto pleiotrópico que afecta la morfología de todos los órganos de la planta. Las plantas son arbustos cónicos, de porte bajo, entre 1 y 2 m de altura, su ramificación es muy densa y sus entrenudos son muy cortos, su follaje es muy denso. Comparado con la variedad Borbón común, *Bourbon pointu* es una variedad enana, con una forma característica de un árbol de navidad, con excelente calidad en taza.

Los brotes son verdes, las hojas son pequeñas y elípticas. Sus frutos son rojos, pequeños y sus almendras son muy pequeñas, alargadas y puntudas en uno de sus

extremos. En el Brasil se mostró muy resistente a las sequías prolongadas, en las cuales no perdió sus hojas. La principal característica de la variedad Laurina, es su bajo contenido de cafeína, alrededor de 0,6 % en materia seca (Krug, 1954; Orozco, 1986; Lecolier *et al.*, 2009). Filho y Alves (1960) compararon durante 6 años la producción de esta variedad con otras variedades comerciales, cuando la roya aún estaba ausente del Brasil, encontrando que su producción era entre el 50% y 60% de la de Borbón o Caturra, en distancias de siembra de 3 x 3 m (Tres plantas por sitio), que son amplias.

Mokka o Mocca. Su descripción original se basa en plantas de Java. Las flores son pequeñas y los frutos son los más pequeños dentro de la especie *C. arabica*. La forma de la planta es cónica. Las características están definidas por la unión de los caracteres genéticos de Mokka (*mo/mo*) y Laurina (*lr/lr*). Su grano tuvo alta cotización en los mercados europeos. Tiene parecido con la variedad Laurina, pero se distingue porque tiene hojas con domacías grandes, las flores son más pequeñas y los frutos redondeados (Jones, 1957).

San Pacho (Caturra x San Bernardo). Es el resultado de la recombinación de dos pares de genes que determinan entrenudos cortos: el Caturra y el San Bernardo. La selección a partir de cruzamientos entre estas dos variedades realizados en Cenicafe, presenta plantas con entrenudos muy cortos y crecimiento ortotrópico muy limitado, lo que le da una apariencia característica (Enana). Las hojas son medianas a pequeñas, pero alargadas. Los frutos son similares a los de variedad Típica (Orozco, 1986).

Geisha. Dentro del mercado de cafés especiales de alta calidad, la variedad Geisha, sembrada en Panamá, ha adquirido gran reputación en los últimos años, especialmente en el mercado japonés. Según Jones (1956), esta variedad fue introducida en Kenia en 1936, a través del consulado británico en Maji, en el sudoeste de Abisinia (Etiopía), quien recolectó semilla de cafés silvestres en los bosques del distrito de Geisha. Es bastante variable, predominan los tipos de planta abierta, con ramas primarias largas y caídas, proliferación de crecimiento secundario, hojas estrechas y brote bronce. Esta variedad tiene los genes S_{H1} y S_{H5} de resistencia a la roya del cafeto y ha sido utilizada en cruzamientos que buscaban transferir la resistencia a la roya de las variedades comerciales (Jones, 1956).

La variedad Geisha fue introducida a Colombia en varias oportunidades, las introducciones más antiguas son de 1953 y 1954, cuando llegaron como parte de la Colección Internacional dos introducciones Geisha A (CCC 66 ó T2722) procedente de Tanganika y Geisha B (CCC 30 ó T2917) del Congo Belga. En la Colección Colombiana de Café no se hace control de roya en estas accesiones.

Los ensayos de Cenicafe mostraron que los granos son de tamaño medio y solo algunas selecciones de tamaño grande, con una producción baja. Las pruebas de calidad en taza definieron al Geisha como un café con “acidez cítrica” que se percibe desde su fragancia y aroma, con un cuerpo y una acidez balanceada resaltando sus sabores frutales (Miranda, 2006).

Híbrido de Timor. Constituye una población de plantas derivadas de un cruzamiento natural entre las especies *C. arabica* y *C. canephora*, que fueron seleccionadas en la isla de Timor (Indonesia) por su resistencia a la roya. Tiene porte alto y características predominantes de *Coffea arabica*, con alguna semejanza al Mundo Novo, aunque se presentan árboles de diferente tipo, debido a su origen interespecífico. Es de producción variable. En Colombia, es la fuente de resistencia de las variedades resistentes a roya. Las cuatro principales introducciones del Híbrido de Timor recolectadas por el CIFC son: H1343, H832/1, H832/2 y H2252 (Bettencourt, 1973; Castillo y Moreno, 1981).

Otras variedades resistentes a roya derivadas del Híbrido de Timor

En Centroamérica, Brasil y diferentes países Latinoamericanos se han venido liberando variedades resistentes, provenientes de una sola progenie, utilizando como fuente de resistencia al Híbrido de Timor CIFS 832. Dentro de ellas se destacan IHCAFE 90, Costa Rica 95 y Oeiras MG 6851.

La variedad **IHCAFE90** (Catimor 5175) se originó del cruzamiento Caturra x Híbrido de Timor 832/1, fue liberada en 1990 por el Instituto Hondureño del Café. También se distribuyó en Costa Rica como T5175. Esta variedad se distingue por sus hojas anchas de color verde oscuro, brotes bronceados y frutos rojos, ramas largas, con entrenudos cortos. Se caracteriza por su alta precocidad, con un descenso hacia el cuarto y quinto año (Bertrand *et al.*, 1999). En Nicaragua, la variedad Catrenic es bastante cercana genéticamente al T5175.

La variedad **Costa Rica 95** proviene de un cruce entre Villa Sarchi x Híbrido de Timor CIFC 832/2. Es conocida también como Mida 96 y Lempira, además es similar a Oeiras MG 6851 (Brasil). Costa Rica 95 ha sido sembrada en el país (Aguilar, 1995).

En el Brasil se desarrollaron otras variedades hermanas como **IAPAR 59** (IAPAR, 1993), Obatá, Tupi y muchas otras, algunas por retrocruzamiento de estas variedades a las comerciales, Caturra y Catuai (Fazuoli *et al.*, 2002). A partir del Híbrido de Timor UFV445-46 han sido lanzadas las variedades Paraíso, Araponga y Sacramento, **Oeiras**

MG 6851 (Pereira *et al.*, 2005). Pero en general, la difusión de todas estas variedades ha sido baja.

En otros países Latinoamericanos de menor importancia cafetera, también se han lanzado variedades con resistencia a la roya derivada del Híbrido de Timor, como la INIA 01 en Venezuela (INIA, 2001).

Otras especies de café

***Coffea canephora* (Robusta).** Es la especie diploide más cultivada en el mundo. Existen dos grupos comerciales conocidos Robustas y Conilones, estos últimos caracterizados por su grano de tamaño pequeño. Esta especie es originaria de las zonas ecuatoriales del África central y occidental, donde se cultiva ampliamente. En algunos países americanos, como Brasil y Ecuador, existen cultivos importantes de esta especie. En general, tiene características muy variables, debido a que es de polinización cruzada. Es útil en programas de mejoramiento de *Coffea arabica* por su rusticidad, buena producción y la resistencia de algunos clones a plagas y enfermedades, especialmente la roya del café y la enfermedad del fruto. Su bebida se caracteriza por ser amarga y tener un alto contenido de cafeína. Los árboles son vigorosos, de copa amplia, hojas generalmente grandes, corrugadas y frutos pequeños (Herrera *et al.*, 2012).

Coffea eugenioides. Especie diploide originaria de la región de los grandes lagos africanos, de la cual se

han descrito diferentes formas. Presenta árboles con resistencia a la roya, útiles en programas de hibridación con *C. arabica*. Las plantas son de poco crecimiento, hojas y frutos pequeños. Se registra como tolerante a condiciones desfavorables de suelo (Herrera *et al.*, 2012). Es uno de los padres de la especie *C. arabica*.

Coffea liberica. Especie diploide, variable en formas taxonómicas y caracteres morfológicos. A esta especie se le considera como árboles de porte pequeño en lugar de arbustos, debido a su gran desarrollo. Tienen tronco grueso, hojas ovales o elípticas muy grandes, coriáceas y olorosas. Los frutos son grandes, de disco prominente, pulpa gruesa y densa. Aun cuando tuvo relativo éxito en África por sus características de resistencia a roya, su cultivo fue abandonado prácticamente, prefiriéndose la especie *C. canephora*, por sus mayores producciones, manejo más fácil y calidad de la bebida (Orozco, 1986; Herrera *et al.*, 2012).

Caturra x *C. canephora* (Híbridos interespecíficos). Árboles provenientes del cruzamiento directo entre las especies *C. arabica*, variedad Caturra y *Coffea canephora*. En general, se combinan en ellos los caracteres de ambos progenitores. Estos árboles sobresalen por su vigor y alta esterilidad, que ocasiona producción muy baja de frutos, debida a problemas genéticos (Desbalance cromosómico). Se diferencian del Arabusta en que no se ha duplicado el robusta (*C. canephora*), por lo tanto, es un híbrido triploide (Orozco, 1989; Alvarado y Cortina, 1995).

Recomendaciones prácticas

- Si va a sembrar plantas de porte bajo siembre variedades compuestas resistentes a la roya como la Variedad Castillo® o las variedades Castillo® Regionales, y si va a sembrar plantas de porte alto, prefiera la variedad Tabi. Recuerde que la elección de la variedad Castillo® Regional más adecuada para sembrar en su finca depende de la zona del país donde ésta se localice.
- Siempre adquiera el material de siembra en los Almacenes del Café, a través del Servicio de Extensión o en viveros certificados por el ICA. Evite al máximo recolectar semilla de su lote para nuevas siembras, esta práctica puede reducir drásticamente la variabilidad de la variedad con respecto a la resistencia a la roya.
- Recuerde que la Variedad Castillo® es en promedio de porte más alto que Caturra y Colombia, lo que implica que se debe sembrar a distancias mayores.
- A diferencia de las variedades compuestas (Castillo®, Tabi, Colombia), las variedades resistentes a la roya provenientes de una sola línea, como Costa Rica 95 (También llamada Catimor), pierden más rápido su resistencia a la roya, exponiendo su cafetal a una posible epidemia.

Literatura citada

- AGUILAR V., G.J. *Varietad Costa Rica 95*. San José de Costa Rica : ICAFE, 1995. 30 p.
- ALLARD R.W. *Principios de la mejora genética de las plantas*. Barcelona : Omega, 1978. p. 498
- ALVARADO A., G. *Mejoramiento de las características agronómicas de la variedad Colombia mediante la modificación de su composición*. Chinchiná : CENICAFE, 2002. 8 p. (Avances Técnicos No. 304).
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H. CASTILLO. *Nueva variedad de café con resistencia a la roya*. Chinchiná: CENICAFE, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 337).
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O. H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. *La variedad Castillo Naranjal para las regiones cafeteras de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 338).
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O. H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. *La variedad Castillo Paraguaquito para las regiones cafeteras de Quindío y Valle del Cauca*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 339).
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O. H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. *La variedad Castillo El Rosario para las regiones cafeteras de Antioquia, Risaralda y Caldas*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 340).
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O. H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. *La variedad Castillo Pueblo Bello para las regiones de Magdalena, Cesar, La Guajira y Norte de Santander*. Chinchiná : CENICAFE, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 341).
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O. H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. *La variedad Castillo Santa Bárbara para las regiones cafeteras de Cundinamarca y Boyacá*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 342).
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O. H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. *La variedad Castillo la Trinidad para regiones cafeteras del Tolima*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2006. 8 p. (Avances Técnicos No. 343).
- ALVARADO A., G.; CASTILLO Z., J. *Progreso de la roya del cafeto sobre genotipos resistentes y susceptibles a Hemileia vastatrix*. *Cenicafé* 47(1):42-52. 1996.
- ALVARADO A., G.; CORTINA G., H.A. *Comportamiento de progenies F4 RC1 de híbridos interespecíficos de café*. p. 18-19. En: CONGRESO de la sociedad colombiana de fitomejoramiento y producción de cultivos. (4 : Mayo 8-10 1995 : Chinchiná). Chinchiná : CENICAFÉ, 1995. 171 p.
- ALVARADO A., G.; CORTINA G., H.A. *Comportamiento agronómico de progenies de híbridos triploides de Coffea arabica var. Caturra X (Caturra X Coffea canephora)*. *Cenicafé* 48(2):73-91. 1997.
- ALVARADO A., G.; MORENO R., L.G. *Cambio de la virulencia de Hemileia vastatrix en progenies de Caturra x híbrido de Timor*. *Cenicafé* 56(2):110-126. 2005.
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A. *Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 337).
- ALVARADO A., G. *Comportamiento de progenies de variedad Colombia en presencia de razas de roya compatibles*. *Cenicafé* 55(1):69-92. 2004.
- BAIL, J.A.; JEGER, M. J. *Colletotrichum: Biology, pathology and control*. Wallingford (Inglaterra) : British society for plant pathology : CAB International, 1992. 388 p.
- BERTRAND, B.; AGUILAR V., G.J.; SANTACREO P., R.; ANZUETO R., F. *El mejoramiento genético en América central*. p. 407-456. En: DESAFIOS De la cafcultura en Centroamérica. San José de Costa Rica : IICA : PROMECAFE : CIRAD, 1999. 496.
- BETTENCOURT A.J. *Características agronómicas de seleções derivadas de cruzamentos entre híbrido de Timor e as variedades Caturra, Villa Sarchi e Catuai*. p. 353-373. En: COMUNICAÇÕES, Simposio sobre ferrugens do cafeeiro. (1 : Octubre 17-20 1983). Oeiras, Portugal: Instituto de Investigaçao Cinetífica Tropical. 649 p.
- BETTENCOURT A.J., RODRIGUES C.J., Jr. *Principles and practice of coffee breeding for resistance to rust and other diseases*. p. 199-234. En: CLARKE R.J.; MACRAE R (editores). *Coffee*. London : Elsevier, 1988. 334 p.

- BETTENCOURT, A.J. *Consideracoes gerais sobre o híbrido de Timor*. Sao Paulo : Instituto Agronómico de Campinas, 1973. 20 p.
- BIRIKUNZIRA, J.B. *Country report Uganda: Coffee berry disease in Uganda*. p. 97-101. En: *PROCEEDINGS Of the first regional workshop on coffee berry disease*. : (1 : 19-23 July 1982 : Addis Ababa). Addis Ababa : The European Economic Commission, 1982.322 p.
- BOLÍVAR F., C.P.; ACUÑA Z., J.R.; MONCADA B., M. DEL P. *Análisis proteómico de genotipos de Coffea arabica resistentes a CBD*. (CD-ROM). En: *CONGRESO De fitomejoramiento y producción de cultivos (12 : Junio 22-24 2011 : Montería)*. Universidad de Córdoba, 2011.
- BROWNING, J.A. *Diversity the only assurance against genetic vulnerability to disease in mayor crops*. En: *CENTRAL States forest tree improvement conference*. (9 : October 10, 1974 : Ames). Ames : Iowa state university, 1974. 23 p.
- BUJULU. J.; KIBANI, T.H.M. *Country report Tanzania: Coffee berry disease in Tanzania*. p. 103-121. En: *PROCEEDINGS Of the regional workshop on coffee berry disease*. (1 : 19-23 July 1982 : Addis Ababa). Addis Ababa : The European Economic Commission, 1982. 322 p.
- BUSTILLO, A. E. *La broca de la cereza del café, Hypothenemus hampei (Ferrari) (Coleoptera: Scolytinae)*. p. 364-367. En: *BUSTILLO P., A.E (Editor). Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2008. 466 p.
- BUSTILLO, A. E; CÁRDENAS, R.; VILLALBA, D. A.; BENAVIDES, P.; OROZCO, J; POSADA, F. J. *Biología y comportamiento de la broca del café en relación con su hospedante: El café*. p. 19-69. En: *MANEJO Integrado de la broca del café Hypothenemus hampei (Ferrari) en Colombia*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1998. 134 p.
- CARVALHO, A. *Advances in coffee production technology recent advances in our knowledge of coffee e tree: Genetics. Coffee and tea industries and the flavor field* 81(11):30-36. 1958.
- CARVALHO, A.; MEDINA, H.P., Filho; FAZUOLI, L.C.; COSTA, W.M. DA. *Número de locos e acao génica de fatores para porte pequeno em Coffea arabica L*. *Bragantia* 43(2):425-442. 1984.
- CASTILLO Z., J. *Mejoramiento genético del café en Colombia*. p. 43-53. En: *CENICAFÉ. 50 AÑOS de Cenicafé 1938-1988: Conferencias conmemorativas*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1990. 255p.
- CASTILLO Z., J.; CASTRO C., B.L. *Resistencia a Ceratocystis fimbriata Ell Halst Hunt. en progenies F3 del cruzamiento entre café Borbón resistente a macana por Caturra*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1999. 15 p.
- CASTILLO Z., J. *Producción, variabilidad y distribución de la cosecha en introducciones de café*. *Cenicafé* 28(3):82-107. 1977.
- CASTILLO Z., J. *Producción y características de grano de germoplasma de café introducido a Colombia*. *Cenicafé* 26(1):3-26. 1975.
- CASTILLO Z., J. *Algunas características morfológicas de una selección resistente a la llaga macana*. *Cenicafé* 16(1/4):31-41. 1965.
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. *La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del café*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1988. 171 p.
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. *Comportamiento de la variedad San Bernardo en Colombia*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1976. 4 p. (Avances Técnicos No. 59).
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G.; LÓPEZ, D.S. *Uso de resistencia genética a Hemileia vastatrix Berk y Br. existente en germoplasma de café en Colombia*. *Cenicafé* 27(1):3-25. 1976.
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. *La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del café*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1988. 171 p.
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. *Obtención de materiales de café resistentes a Hemileia vastatrix en Colombia en ausencia de la enfermedad, un programa cooperativo entre Cenicafé y el CIFC*. *García de Orta. Serie de estudios agronómicos* 9(1/2):119-128. 1982.
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. *Selección de cruzamientos derivados del híbrido de Timor en la obtención de variedades mejoradas de café para Colombia*. *Cenicafé* 32(2):37-53. 1981.
- CASTILLO Z., J.; PARRA, H.J. *Exploración en el contenido de cafeína, grasas y sólidos solubles en 113 introducciones de café*. *Cenicafé* 24(1):3-29. 1973.

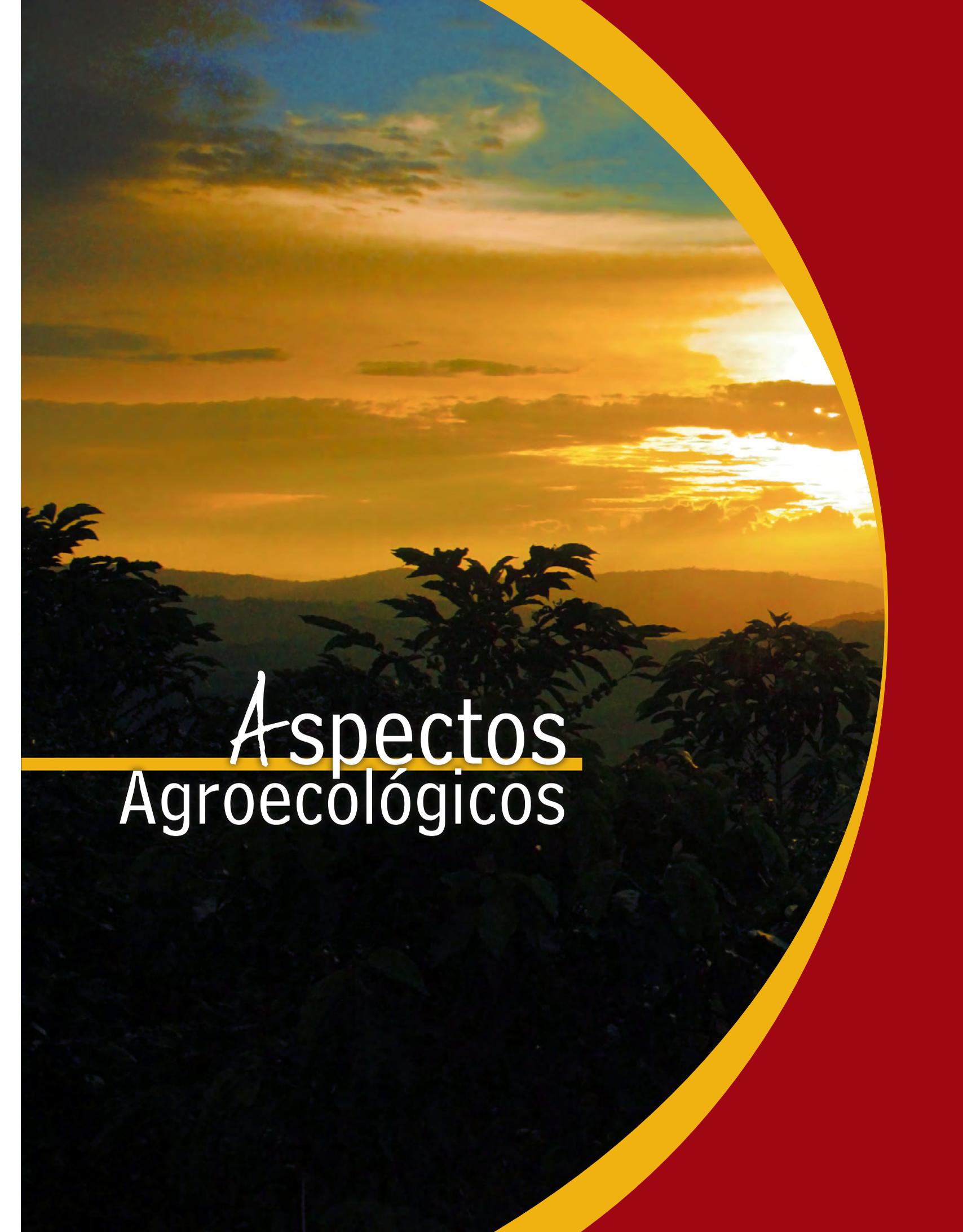
- CASTILLO Z., J.; QUICENO H., G. Estudio de la producción de seis variedades comerciales de café. *Cenicafé* 19(1):18-39. 1968.
- CASTILLO Z., J.; QUICENO H., G. Comparación de líneas de *Coffea arabica* L. por su resistencia a *Ceratocystis fimbriata* Ell. *Halst. Hunt. Cenicafé* 21(3):95-104. 1970.
- CASTILLO Z., J. Mejoramiento del café arábica var. Típica: Utilización del registro de producción de árboles madres. *Boletín informativo* 8(4):117-144. 1957.
- CASTILLO Z., J. Informe preliminar sobre las pruebas de resistencia al CBD hechas en Kenia. Oficio (es una carta) CENICAFÉ 002202 del 26 DE Junio de 1978.
- CASTILLO Z., J. Producción de variedades de café. Chinchiná : CENICAFÉ, 1977. 6 p.
- CASTRO C., B.L.; CORTINA G., H.A. Café resistente a la llaga macana. Chinchiná : CENICAFE, 2008. 8 p. (Avances Técnicos No. 377).
- CASTRO C., B.L.; CORTINA G., H.A. Evaluación de progenies F5 resistentes a la llaga macana del cafeto *Ceratocystis fimbriata*. Bogotá p42-43: Congreso de la asociación colombiana de fitopatología y ciencias afines, 2002. 138 p.
- CHAPARRO B., A.P.; CRISTANCHO A., M.A.; CORTINA G., H.A.; GAITÁN B., A.L. Genetic variability of *Coffea arabica* L. accessions from Ethiopia evaluated with RAPDs. *Genetic resources and crop evolution* 51(3):291-297. 2004.
- CHARRIER, A. Étude de la structure et de la variabilité génétique des caféiers: Résultats des études et des expérimentations réalisées au Cameroun en Cote D'ivoire et á Madagascar sur l'espece *Coffea arabica* L. collectée en Ethiopie par mission Orstom en 1966. Paris : ORSTOM : IFCC, 1978. 99 p. (Bulletin No. 14).
- CHOUSSEY, F. El café. 2da. ed. San Salvador : Asociación Cafetalera. Tomo 1. 1935.131 p.
- CRISTANCHO, A., M.A.; ESCOBAR, O., C.; OCAMPO, M., J.D. Evolución de razas de *Hemileia vastatrix* en Colombia. *Cenicafé* 58(4):340-359. 2007.
- CORTINA G., H.A. Búsqueda de fuentes de resistencia genética a la broca (*Hypothenemus hampei*) en germoplasma de café: Informe técnico final a Colciencias. Chinchiná : CENICAFÉ, 2000. 90 p.
- DUQUE, H. Costos del manejo de la broca del café: Un estudio de caso. *Asocia* 2(3):23-25. 1994.
- FARFÁN C., M.I. Impacto económico de la investigación en café en Colombia: El caso de la variedad Colombia. *Ensayos sobre economía cafetera* 2(14):21-41. 1998.
- FAZUOLI, L.C.; CARVALHO, A.; COSTA, W.M. DA; NERY, C.; PEREIRA L., C.R.; SANTIAGO, M. Avaliacao de progénies e selecao no cafeeiro Icatú. *Bragantia* 42(16):179-189. 1983.
- FAZUOLI, L.C.; MEDINA, H.P., Filho; GONCALVES, W.; GUERREIRO., O., Filho; SILVAROLLA, M.B. Melhoramento do cafeeiro: Variedades tipo arábica obtidas no Instituto agronómico de Campinas. p. 163-216. En: O ESTADO da arte de tecnologias na producao de café. Vicosa : Universidade Federal de Vicosa, 2002. 568 p.
- FILHO, A.H.; ALVES, S. Melhoramento do cafeeiro: Competicao de variedades comerciais em Monte Alegre do sul. *Bragantia* 19(7):73-89. 1960.
- GÓMEZ G., L.; CABALLERO R., A.; BALDIÓN R., J.V. Ecotopos cafeteros de Colombia. Bogotá : FNC, 1991. 131 p.
- GÓNGORA, C.E. Chitinolytic transgenes from *Streptomyces albidoflavus* as phytochemicals defences against herbivorous insects, use in transgenic plants and effect in plant development. Ithaca : Cornell university, 1999. 290 p.
- GÓNGORA, C.E.; ACUÑA, R. Uso de genes para incrementar la resistencia de plantas a insectos herbívoros. p. 242-271. En: BUSTILLO P., A.E. Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. Chinchiná : CENICAFÉ, 2008. 466 p.
- GONZÁLEZ, L.F.; CORTINA, H.; HERRERA, J.C. Validación de marcadores moleculares ligados al gen SH3 de resistencia contra la roya en introducciones de la colección colombiana de café. *Cenicafé* 60(4):366-380. 2010.
- GUILLAUMET J. L.; HALLE F. Echantillonnage du materiel *Coffea arabica* recolte en Ethiopie. p. 13-18. En : CHARRIER, A. Etude de la structure et de la variabilite genetique des cafeiers *Coffea arabica* en Ethiopie. Paris : IFCC, 1978. 100 p.
- HERRERA JC.; ALVARADO, G.; CORTINA, H.A.; COMBES, M.C.; ROMERO, G.; LASHERMES, P. Genetic analysis of partial resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) introgressed into the cultivated *Coffea arabica* L. from the diploid *C. canephora* species. *Euphytica* 167(1):57-67. 2009.

- HERRERA P., J.C.; CORTINA G., H.A.; ANTHONY, F.; PRAKASH, N.S.; LASHERMES, P.; GAITÁN B., A.L.; CRISTANCHO A., M.A.; ACUÑA Z., J.R.; LIMA, D.R. Coffee (*Coffea spp.*). p. 589-640. En: SING, R.J. Medicinal plants: Genetic resources chromosome engineering and crop improvement. Boca Ratón : CRC, 2012. 1066 p.
- INSTITUTO AGRONÓMICO DO PARANA. Café IAPAR 59. Plegable Instituto Agronómico de Paraná, Londrina, Brasil. 2°. Tiraje. 1993.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS. Variedad de café INIA 01: Una variedad de alto rendimiento, tolerante a la roya y adaptada a las diferentes áreas cafetaleras de Venezuela. Caracas : Ministerio de ciencia y tecnología, 2001. 7 p.
- JOHANNSEN, W. Elemente der exakten Erblchkeitslehre. Jena : G. Fisher, 1909. 515 p.
- JONES P., A. Notes on the varieties of *Coffea arabica* in Kenya. p. 158-166. En: COFFEE Board of Kenya: Selected articles on coffee culture. Ruiru : CBK, 1956. 185 p. (Bulletin No. 1935-56).
- KRUG, C.A.; CARVALHO, A. Genética de *Coffea*: Hereditariedade dos caracteres de *Coffea arabica* L. var. Maragogipe Hort ex Froehner. *Bragantia* 2(6):231-247. 1942.
- KRUG, C.A.; CARVALHO, A. The genetics of coffee. *Advances in genetics* (4):127-158. 1951.
- KRUG, C.A.; CARVALHO, A.; ANTUNES, H., Filho. Genética de coffee: Hereditariedade dos característicos de *Coffea arabica* L. var. Laurina (Smeatbman) D.C. (Genética del *Coffea*). *Bragantia* 13(21):247-255. 1954.
- KRUG, C.A.; CARVALHO, A.; MENDES, A.J.T. Una nova forma de coffee. *Bragantia* 10(1):11-25. 1950.
- KRUG, C.A.; MENDES, J.E.T.; CARVALHO, A. Taxonomía de *Coffea arabica* L.: *Coffea arabica* L. var. Caturra e a sua forma xanthocarpa. *Bragantia* 9(9/12):157-163. 1949.
- KUSHALAPPA, A.C.; ESKES, A.B. Coffee rust: Epidemiology, resistance, and management. Boca Raton : CRC Press, 1989. 345 p.
- LE PELLEY, R.H. Pests of coffee. London : Longmans green, 1968. 590 p.
- LECOLIER, A.; BESSE, P.; CHARRIER, A.; TCHAKALOFF, T.N.; NOIROT, M. Unraveling the origin of *Coffea Arabica* Bourbon pointu from La réunion: A historical and scientific perspective. *Euphytica* 168(1):1-10. 2009.
- LÓPEZ G., G.; CORTINA G., H.A.; MCCOUCH, S.R.; MONCADA B., M. DEL P. Analysis of genetic structure in a sample of coffee *Coffea arabica* L. using fluorescent SSR markers. *Tree genetics and genomes* 5(3):435-446. 2009.
- MARÍN N., H.; OROZCO C., F.J. Caracterización de selecciones de café Etíope por medio de medidas biométricas. Manizales : Universidad de Caldas. Facultad de agronomía, 1968. Tesis: Ingeniero agrónomo.
- MASABA. D.M.; WALYARO D.J.; NJAGI S.B.C. Country report Kenya: Coffee berry disease in Kenia. p. 45-69. En: PROCEEDINGS Of the regional workshop on coffee berry disease. (1 : 19-23 July 1982 : Addis Ababa). Addis Ababa : The European Economic Commission,, 1982. 322 p.
- MEOAKU. W. Country report Ethiopia: Coffee berry disease in Ethiopia. p. 71-95. En: PROCEEDINGS Of the regional workshop on coffee berry disease. (1 : 19-23 July 1982 : Addis Ababa). Addis Ababa : The European Economic Commission, 1982. 322 p
- MOLINA, D.; BLANCO L., A.; ZAMORA, H. Inhibidores de proteasas de plantas efectivos contra las aspártico proteasas de la broca del café (*Hypothenemus hampei*). *Revista colombiana de entomología* 37(2):17-24. 2011.
- MOLINA, D.; ZAMORA, H.; BLANCO L., A. An inhibitor from *Lupinus bogotensis* seeds effective against aspartic proteases from *Hypothenemus hampei*. *Phytochemistry* 71(2):923-929. 2010.
- MORENO, G.; CORTINA, H.; ALVARADO, G.; GAITÁN, A. Utilización de los recursos genéticos de café en el programa de mejoramiento genético de *C. arabica* en Colombia. p. 33-38. En: MEJORAMIENTO Sostenible del Café Arabica por los recursos genéticos, asistido por los marcadores moleculares, con énfasis en la resistencia a los nematodos: Memorias taller del CATIE. Turrialba : CATIE : IRD, 2000. 98 p.
- MORENO R., G. Nueva variedad de café de porte alto resistente a la roya del café. *Cenicafé* 53(2):132-143. 2002.
- MORENO R., G. Tabi: Variedad de café de porte alto con resistencia a la roya. Chinchiná : CENICAFE, 2002. 8 p. (Avances Técnicos No. 300).
- MORENO R., L.G. Etude du polymorphisme de l'hybride de Timor en vue de l'amélioration du Caféier Arabica: Variabilité enzymatique et agromique dans les populations d'origine; résistance incomplète à *Hemileia vastatrix*

dans les croisements avec *Coffea arabica*. Montpellier: Ecole National Supérieure Agronomique, 1989. 153 p. Tesis: Docteur-Ingenieur.

- MORENO R., L.G. Obtención de variedades de café con resistencia durable a enfermedades, usando la diversidad genética como estrategia de mejoramiento. *Revista de la academia colombiana de ciencias exactas físicas y naturales* 28(107):187-200. 2004.
- MORENO R., L.G.; ALVARADO A.; G. La variedad Colombia: Veinte años de adopción y comportamiento frente a nuevas razas de la roya del cafeto. *Cenicafé*. Chinchiná : CENICAFE, 2000. 32 p. (Boletín Técnico No. 22).
- MORENO R., L.G.; CASTILLO Z., J. Germoplasma existente en la colección colombiana de café e información disponible sobre algunas de sus características. *Chinchiná : CENICAFÉ*, 1979. Sp.
- MORENO R., L.G.; CASTILLO Z., J.; OROZCO G., L. Estabilidad de la producción de progenies de cruzamientos de Caturra por híbrido de Timor. *Cenicafé* 35(4):79-93. 1984.
- MORENO R., L.G.; MORENO G., E.; CADENA G., G. Características del grano y de la bebida de la variedad Colombia, evaluada por paneles de diferentes países. *Fitotecnia colombiana* 1(1):41-52. 1997.
- MONCADA B., M. DEL P. Fuentes de resistencia a la enfermedad de los frutos del café, *Colletotrichum kahawae*. P107. En: CONGRESO De la Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos. (9 : Mayo 11-13 2005 : Palmira). Palmira : Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos, 2005. 141 p.
- MONCADA B., M. del P.; MCCOUCH, S. Simple sequence repeat diversity in diploid and tetraploid *Coffea* species. *Genome* 47(3):501-509. 2004.
- MULINGE. S.K. Development of coffee berry disease in relation to the stage of berry growht. *Kenya coffee* 36:279-280. 1970.
- MULLER. R.A. Some considerations on epidemiology of CBD in Kenya and Cameroun importance of the disease methods of evaluation of losses. p. 137-144. En: PROCEEDINGS Of the regional workshop on coffee berry disease. (1 : 19-23 July 1982 : Addis Ababa). Addis Ababa : The European Economic Commission,, 1982. 322 p.
- OMONDI, C.O. Resistance to coffee berry disease in Arabica coffee variety "Ruiru 11". *Plant Breeding* 112(3):256-259. 1994.
- OPILE W., R.; AGWANDA C. O. Propagation and distribution of cultivar Ruiru 11: A review. *Kenya coffee* 58(677):1496-1508. 1993.
- OROZCO C., F.J. Descripción de especies y variedades de café. Chinchiná : Cenicafé, 1986. 29 p. (Boletín Técnico No. 11).
- OROZCO C., F.J. Utilización de los híbridos triploides en el mejoramiento genético del café. p. 485-494. En: COLLOQUE Scientifique international sur le café. (13 : Aout 21-25 1989 : Paipa). París : ASIC, 1989. 783 p.
- PEREIRA, A.A.; SAKIYAMA, N.S.; ZAMBOLIM, L.; MOURA, W. DE M.; ZAMBOLIM, E.M.; CAIXETA, E.T. Identification and use of sources of durable resistance to coffee leaf rust in the UFV/EPAMIG breeding program. p. 215-232. En: DURABLE Resistance to coffee leaf rust. Vicosa : Universidade Federal de Vicosa, 2005. 450 p
- POSADA S., H.E.; ALVARADO A., G.; CORTINA G., H.A.; SOLARTE C.R.; DUQUE O. H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La variedad Castillo® el Tambo: Para regiones cafeteras de Cauca, Nariño, Huila, Tolima y Valle del Cauca. Chinchiná : CENICAFÉ, 2006. 8 p. (Avances Técnicos No. 344).
- PUERTA, G.I. Calidad en taza de algunas mezclas de variedades de café de la especie *Coffea arabica* L. *Cenicafé* 51(1):5-19. 2000.
- RILEY, R. Genetic changes in hosts and the significance of disease. *Annals of applied biology* 75:128-132. 1973.
- RIVILLAS O., C.A.; LEGUIZAMÓN C., J.E.; GIL V., L.F.; DUQUE O., H. Recomendaciones para el manejo de la roya del cafeto en Colombia. 2da. ed. Chinchiná : CENICAFE, 2005. 36 p. (Boletín Técnico No. 19).
- RODRIGUES C.J., Jr.; VARZEA V.M., SILVA M.C., GUERRA G. L., ROCHETA M., MARQUES V. Recent advances on coffee leaf rust. Bangalore : Proceedings of the international scientific symposium on coffee, 2000. 271 p.
- RODRIGUES C.J., Jr.; VARZEA V.M., MADEIROS E.F. Evidence for the existence of physiological races of *Colletotrichum coffeanum* Noack Senu Hindorf. *Kenya coffee* 57(672):1417-1420. 1992.
- ROMERO, G. Desarrollo de marcadores funcionales ligados a la resistencia genética contra la roya del cafeto. Palmira : Universidad Nacional de Colombia. Facultad de agronomía, 2013. 139 p. Tesis de PhD en Ciencias Agropecuarias con énfasis en mejoramiento genético vegetal.

- ROMERO, G.; ALVARADO, G.; CORTINA, H.; LIGARRETO, M.C.; GALEANO, N.; HERRERA, J.C. Partial resistance to leaf rust (*Hemileia vastatrix*) in coffee (*Coffea arabica* L.): Genetic analysis and molecular characterization of putative candidate genes. *Molecular breeding* 25(4) :685-697. 2010.
- ROMERO, J.V.; CORTINA, H. Fecundidad y ciclo de vida de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en introducciones silvestres de café. *Cenicafé* 55(3):221-231. 2004.
- ROMERO, J.V.; CORTINA G., H.A. Evaluación de germoplasma de café por antixenosis a *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en condiciones controladas. *Chinchiná* : *Cenicafé* 55(4):341-346. 2004
- ROMERO, J.V.; CORTINA G., H.A. Tablas de vida de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionide: Scolytinae) sobre tres introducciones de café. *Revista colombiana de entomología* 33(1):10-16. 2007.
- ROMERO, J.V.; CORTINA G., H.A. Evaluación de germoplasma de café por antixenosis a *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en condiciones controladas. *Cenicafé* 55(4):341-346. 2004.
- ROMERO, J.V.; CORTINA G., H.A. Fecundidad y ciclo de vida de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en introducciones silvestres de café. *Cenicafé* 55(3):221-231. 2004
- SIQUEIRA DE C., C.H. Cultivares de café Arábica de porte baixo.157-226. En: *CULTIVARES De café: Origen, características e recomendacoes. Brasília DF : Embrapa Cafe, 2008. 334p.*
- TRIANA, J.V. Anotaciones sobre el café Bourbon en Colombia. *Cenicafé* 6(62):58-68. 1955.
- VALENCIA, A.; BUSTILLO, A.; OSSA, G.; CHRISPPEELS, M. α -Amylases of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) and their inhibition by two plant amylase inhibitors. *Insect Biochem Mol Biol.* 30(3):207-213. 2000.
- VALLEJO, F.A.; ESTRADA, E.I. Mejoramiento genético de plantas. Editorial Feriva S. A. 2002. 402 p.
- VAN DER GRAAF., N.A. The principles of scaling and the inheritance of resistance to coffee berry disease in *Coffea arabica*. *Euphytica*, 31(3): 735-740.
- VAN DER PLANCK, J.E. Disease resistance in plants. New York : Academic press, 1968. 206 p.
- VAN DER VOSSSEN., H.A.M.; D.J. WALYARO. Breeding for resistance to coffee berry disease in *Coffea arabica* L. II. Inheritance of the resistance. *Euphytica* 29(3):777-791. 1980.
- VAN DER VOSSSEN, H.A.M.; WALYARO D.J. The coffee breeding program in Kenya: An plan of action for the coming years. *Kenya coffee* 46(541):113-130. 1981.
- VAN DER VOSSSEN, H.A.M. Coffee selection and breeding. p. 48-96. En: CLIFORD. M.N.; C. WILLSON. *Coffee: Botany biochemistry and production of beans and beverage. Connecticut : Avi publishing, 1985. 457 P*
- VERMEULEN. H. Coffee berry disease in Kenya. Wageningen : Agricultural University. Department of Agronomy. Thesis PhD in plant phytopatology. 1979. 113 p.
- WALYARO, D.J.; VAN DER VOSSSEN, H.A.M.; OWUOR, J.B.O. Breeding Arabica coffee in Kenya for resistance to coffee berry disease. p: 189-202. En: REGIONAL Workshop of coffee berry disease. (1: 19-23 July 1982 : Addis Ababa). Addis Ababa : The European Economic Commission, 1982. 322 p.
- WELLMAN, F.L.; COWGILL, W.H. Report of the 1952 coffee rust survey mission to Europe, Africa, Asia and Hawaii. Washington : Department of agriculture, 1953. 51p.
- ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E.M.; VARZEA, V.M.P. Durable resistance to coffee leaf rust. Viçosa : Universidade Federal de Viçosa, 2005. 450 p.



Aspectos
Agroecológicos

Factores climáticos que intervienen en la producción del café en Colombia

Víctor Hugo Ramírez Builes; Álvaro Jaramillo Robledo;
Jaime Arcila Pulgarín

La **productividad del cultivo de café** depende de la interacción de diversos factores, los cuales se denominan factores de la producción, que pueden agruparse en: **Factores ambientales, genéticos y de manejo**.

La Zona Cafetera Colombiana se ubica desde 1° hasta 11° de latitud Norte, con rangos variados de altitud y diferentes niveles de exposición de las vertientes; el 95% de la caficultura está ubicada entre 1.000 y 2.000 metros de altitud (SICA, 2011), con el mayor porcentaje entre los 1.200 y 1.800 metros (88,9%) en ambas vertientes de las cordilleras Occidental, Central, Oriental y Sierra Nevada, lo que hace que tenga diferentes patrones de distribución y cantidad de brillo solar, fotoperíodo, temperatura, disponibilidad hídrica y tipo de suelos, entre otras, por lo tanto, **la expresión productiva es variable**. Comprender cómo la variación de estos factores climáticos influye sobre la producción del cultivo permitirá el conocimiento, desarrollo y aplicación de nuevas **estrategias de manejo del cultivo**, que busquen optimizar los factores climáticos de la producción y reducir la vulnerabilidad de los sistemas productivos a condiciones variables de clima.

Este capítulo tiene como objetivo hacer una descripción sobre la relación que tienen los **factores ambientales** sobre la producción y productividad del cultivo de café, con énfasis en los **factores climáticos**.



Conceptos generales

La **productividad del cultivo** de café depende de la interacción de diversos factores de la producción: ambientales, genéticos y de manejo (Figura 1).

Dentro de los factores ambientales se incluye la disponibilidad de energía, radiación y temperatura, y son éstos los que determinan la productividad potencial de cualquier cultivo, la interacción de estos factores ambientales con los genéticos determinan la productividad máxima, y la interacción de los dos anteriores con los factores de manejo, determinan la productividad actual o real.

La **productividad potencial** es alcanzable en la medida en que la disponibilidad hídrica y los factores de manejo y genéticos estén completamente controlados. Por otra parte, si hay cambios en la disponibilidad de energía y agua, así se tenga al máximo nivel los factores genéticos y de manejo, la productividad real va a cambiar.

Cada región del país tiene factores ambientales diferentes, lo que significa que los potenciales productivos de cada zona no son iguales, por ejemplo: una zona como Jorge Villamil, en el Huila, con 1.250 horas de brillo solar al año, tiene un potencial productivo menor que una zona como El Rosario en Venecia (Antioquia), que tiene 2.032 horas del brillo solar al año (Ramírez et al., 2012).

Factores ambientales

Disponibilidad de energía - Brillo solar

La disponibilidad de energía consiste en la cantidad de radiación solar, horas de brillo solar y temperatura que llega a la superficie terrestre, donde se ubican los cultivos.

La disponibilidad de **brillo solar** en Colombia depende de diversos factores como: La época del año, la ubicación (La latitud), la altura respecto al nivel medio del mar (La altitud), y la orientación de la vertiente y de la influencia del fenómeno de El Niño y La Niña (Ramírez et al., 2012; Ramírez y Jaramillo, 2012).

El brillo solar o insolación, medida en horas, se registra en un heliógrafo cuando la radiación solar directa es superior a 120 W.m^{-2} . En un día nublado se tendrán valores bajos, mientras que un día despejado se tendrán valores altos. **El valor promedio de brillo solar para la zona cafetera es de $4,5 \text{ h.día}^{-1}$ (1.668 h.año^{-1})**, con valores máximos promedio de $6,9 \text{ h.día}^{-1}$ (2.525 h.año^{-1}) y mínimos promedio de $2,7 \text{ h.día}^{-1}$ (977 h.año^{-1}) (Tomado de la serie histórica de la disciplina de Agroclimatología, en las estaciones meteorológicas con registros desde 1953 hasta el 2010, en 15 localidades de la zona cafetera, ubicadas entre $01^{\circ}15'N$ hasta $10^{\circ}25'N$).



Figura 1.

Factores que influyen en la productividad del cultivo de café.

¹W.m²: Watts por metro cuadrado

En este capítulo se hablará del brillo solar debido a que desde sus inicios la red meteorológica cafetera empezó con medidas directas de brillo solar, logrando tener a la fecha registros históricos de más de 60 años.

El proceso de acumulación de biomasa del cultivo de café depende fundamentalmente de la cantidad de energía recibida, absorbida y redistribuida por el cultivo.

El brillo solar es un indicador de la cantidad de esa energía recibida en la superficie terrestre, y éste se considera como un factor climático de acumulación, cuando interactúa con la cantidad de biomasa disponible en hojas, bien sea solo de café (Monocultivo), con otros cultivos (Policultivo) o con árboles (Agroforestal), determinando la productividad potencial del sistema.

Brillo solar - producción. Para evaluar el efecto de los elementos del clima sobre la producción de café, se tomaron datos de experimentos desarrollados en Cenicafé de finales de la década de 1960 y 1970, en donde se evaluaba en variedad Caturra el efecto de diferentes

densidades de siembra y dosis de fertilizante. Estos experimentos ayudan a tener una idea del efecto de estas dos variables sobre la productividad, sin la presencia de los dos principales limitantes de la producción actual del cultivo como son la roya (*Hemileia vastatrix*) y la broca (*Hypothenemus hampei*), lo que permite hacer un análisis de la influencia de los elementos del clima sobre la producción máxima, muy cercana a la potencial del cultivo de café, en variedades de porte bajo.

Como resultado del análisis se encontró que **hay una relación directa entre el brillo solar acumulado y la producción acumulada de café** (Figura 2).

En la Tabla 1, se observa la relación entre la tasa de producción acumulada por hora de brillo solar acumulada, en dos densidades de siembra. La tasa de incremento de producción en función del brillo solar depende de varios factores como: La densidad de siembra, la temperatura del aire y del suelo, la disponibilidad hídrica en el suelo, el intercambio gaseoso (H₂O vs CO₂) y la nutrición.

Densidad de siembra* (Plantas/ha)	Incremento de producción por hora de brillo solar acumulado (kg.ha-h ⁻¹ de brillo solar)		
	Promedio	Límite inferior	Límite superior
5.000	2,90	1,79	3,91
10.000	2,86	1,69	4,03

Tabla 1.

Tasas de producción de café (kg de c.p.s.) por hora de brillo solar acumulada, en un ciclo de cinco cosechas, para dos densidades de siembra.

*Datos en cuatro localidades: Estación Central Naranjal (Chinchiná, Caldas), Estación Paraguaicito (Buenavista, Quindío), Estación Líbano (Tolima) y Mesitas (Cundinamarca).

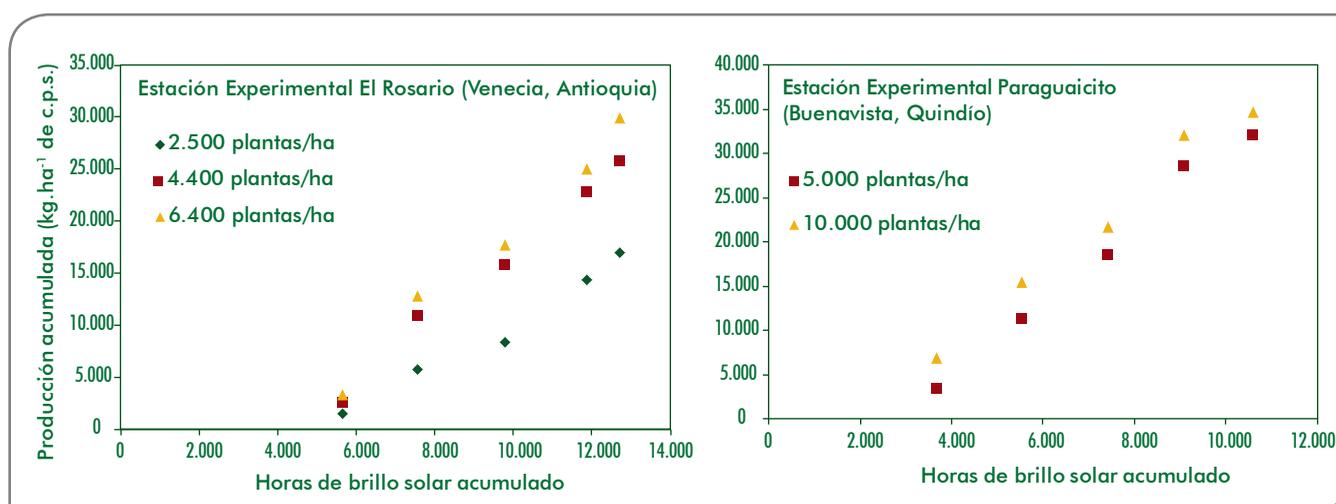


Figura 2.

Relación entre la producción acumulada de café pergamino seco por hectárea (kg.ha⁻¹) en un ciclo de cinco cosechas y el brillo solar acumulado en diferentes densidades de siembra y localidades.

Al interactuar la densidad de siembra desde 2.500 hasta 10.000 plantas/ha, con un brillo solar constante, se observa que por cada planta que aumente la densidad, la producción aumenta $1,12 \text{ kg.ha}^{-1}$ de c.p.s. Además, bajas densidades de siembra son más susceptibles a los cambios en radiación que altas densidades (Ver capítulos de Gestión del riesgo agroclimático).

Al integrar en un mismo modelo las densidades de siembra y las localidades se observa que el incremento en producción por hora de **brillo solar** es de $2,55 \text{ kg.ha}^{-1}$ de c.p.s., y por cada planta nueva que se adicione por hectárea, la producción se incrementa en $1,12 \text{ kg.ha}^{-1}$ de c.p.s. (Tabla 2).

A partir del análisis anterior y al calcular producciones en diferentes condiciones brillo solar, pudo estimarse el potencial productivo del café en función del brillo solar (Tabla 3).

Consideraciones prácticas

Los rangos definidos en la Tabla 3 indican que las condiciones óptimas para producir café en función del brillo solar son aquellas que están por encima de las 1.700 h.año^{-1} ($4,6 \text{ h.día}^{-1}$).

Relación brillo solar - época de siembra. Con frecuencia, cuando se compara un ciclo de producción de café (4 ó 5 cosechas) con otros ciclos sembrados en años diferentes, se observan diferencias en las producciones acumuladas y éstas diferencias suelen atribuirse a los factores de manejo, a la variabilidad espacial y temporal del lote, a la calidad de la semilla o a la variedad, entre otras; sin embargo, las condiciones ambientales dominantes durante el ciclo de producción también tienen un efecto considerable en esta respuesta.

Por ejemplo, en una localidad como Chinchiná (Caldas), al observar el brillo solar anual medido desde el año 2001 al año 2010 (Figura 3), se registra que desde el año 2001 hasta el año 2005, éste estuvo por encima de las 1.700 h.año^{-1} , equivalente a una condición de brillo solar que permite un potencial productivo alto; mientras que del año 2005 hasta el año 2010 el brillo solar descendió, a excepción del año 2009, por efecto de la variabilidad climática generada por el evento de La Niña 2008-2011.

También es necesario revisar los **efectos de la reducción en el número de horas de brillo solar sobre la productividad**, para explicar en detalle el efecto de la época de siembra.

Si se asumen iguales condiciones de manejo y densidad de siembra, y se varía únicamente el año de siembra, tomando como fecha de siembra la recomendada para la zona cafetera central, como el 1 de marzo de los años 2000 al 2005, se observa que:

Factor de producción	Incremento en producción (kg.ha^{-1} de c.p.s.) por cada unidad de incremento del factor de producción		
	Promedio	Límite inferior	Límite superior
Brillo solar 1/	2,55	1,98	3,11
Densidad 2/	1,12	0,50	1,73

Tabla 2.

Tasas de producción de café en función de brillo solar acumulado y la densidad de siembra para un ciclo de cinco cosechas.

1/Desde 2.147 horas hasta 12.727 horas

2/Desde 2.500 hasta 10.000 plantas/ha

Datos de la Estación Central Naranjal (Chinchiná, Caldas), Estación Paraguaicito (Buenavista, Quindío), Estación Líbano (Líbano, Tolima)

Brillo solar (h.año^{-1})	Potencial productivo
< 1.300	Muy bajo: < del 50% del potencial productivo
1.300 - 1.500	Bajo: Entre el 50% y el 60% del potencial productivo
1.500 - 1.700	Medio: Entre el 60% y el 80% del potencial productivo
1.700 - 1.900	Alto: Entre el 80% y el 90% del potencial productivo
1.900 - 2.100	Muy alto: > del 90% del potencial productivo

Tabla 3.

Potencial productivo del café en Colombia en función del brillo solar anual.

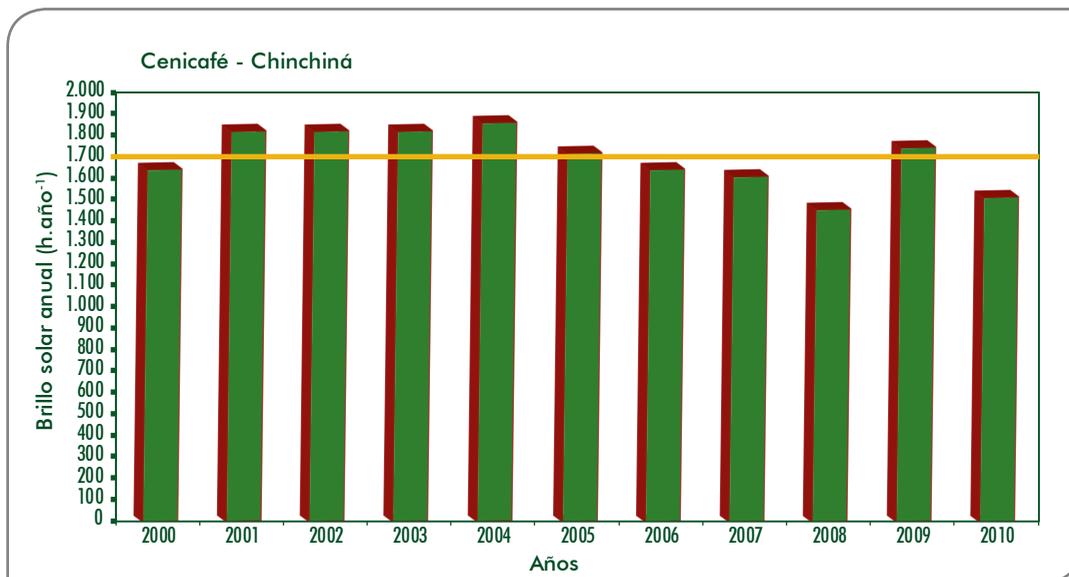


Figura 3.

Distribución del brillo solar en la zona de influencia de la Estación Central Naranjal (Chinchiná, Caldas), durante 11 años.

- La siembra que tuvo la mayor producción acumulada fue la siembra realizada en el año 2000, la cual terminó su ciclo en diciembre de 2006, ese período fue el que tuvo la mayor acumulación de brillo solar con 10.390 horas acumuladas en los 6 años, equivalente a 1.732 h.año⁻¹ en promedio, con valores similares a los de la siembra del año 2001, que terminó ciclo en el año 2007, y que acumuló 10.373 horas en los 6 años, con un promedio anual de 1.729 h.año⁻¹.
 - Las siembras realizadas desde el año 2002 hasta el año 2005, que terminaron ciclos a partir del 2007 y hasta 2010, tuvieron reducciones en la producción acumulada desde el 3,0% hasta el 12,5%, como la que ocurrió con la siembra del 2005 que terminó su ciclo en el 2010, con apenas 9.411 horas de brillo solar acumuladas en los 6 años, equivalente a 1.568 h.año⁻¹ en promedio (Figura 4).
- Tendencia similar, pero con reducciones diferenciales en la producción acumulada de café en función solo del brillo solar, se observa en otras localidades de la zona cafetera de Colombia, como por ejemplo:
- En El Tambo (Cauca) la reducción de la producción fue del 13,0% de las siembras realizadas en 2005, respecto a aquellas establecidas en el año 2000 en Gigante (Huila) donde la reducción fue del 7,4%.
 - En Consacá (Nariño) la reducción fue del 15%.

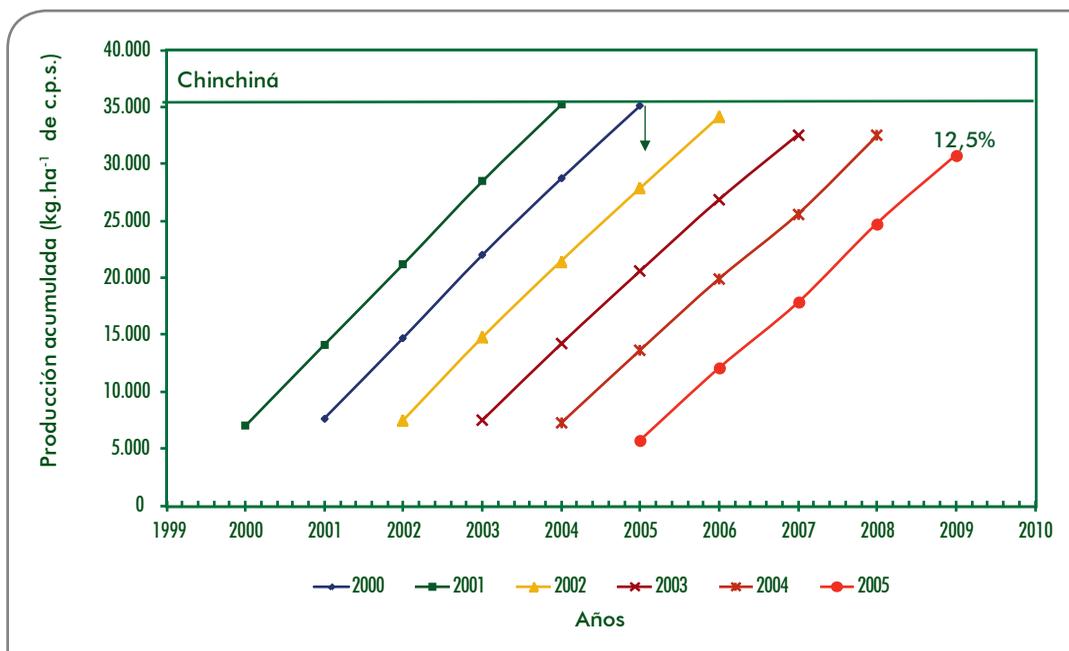


Figura 4.

Comparación de las épocas de siembra sobre la producción acumulada de café en diferentes ciclos de producción para la misma localidad, con igual densidad de siembra y factores de manejo iguales. Producción calculada en función del brillo solar, lo que equivale a una producción potencial.

- En Santa Rosa de Cabal (Risaralda) la reducción fue del 13,0%.
- En Salazar-Norte de Santander la reducción acumulada fue del 5%.

Estas pérdidas permiten dar un ejemplo del efecto que este elemento del clima, el brillo solar, tiene sobre la producción; sin embargo, estas reducciones regularmente son mayores por efecto de la reducción de temperatura y por el exceso hídrico, sin incluir ningún daño por enfermedades e insectos.

En cuanto a la zona y la cantidad de horas de brillo solar astronómico o potencialmente posible en una zona, se observa que para las siembras realizadas en marzo, durante 18 meses se acumula más brillo solar astronómico que para aquellas siembras de septiembre en todo el país, y que la diferencia es cada vez mayor conforme se avanza hacia el norte del país (Tabla 4).

Al evaluar el brillo solar observado en diferentes zonas del país a nivel histórico (Tabla 5), se observa que en el 62% de las estaciones en donde se tienen registros de brillo solar histórico, se acumula más brillo solar desde siembra a primera cosecha en las siembras hechas en marzo, que en las siembras hechas en septiembre, pero la decisión final de la época de siembra debe tomarse en función de la disponibilidad hídrica, como se verá más adelante. Por lo tanto, si se desea obtener el mayor provecho de los factores climáticos para la producción, en el caso de la siembra se deben combinar las consideraciones de época de siembra en función de los estímulos para la floración, la disponibilidad de energía potencial de las zonas o brillo solar astronómico, la disponibilidad de energía real o brillo solar medido y la disponibilidad hídrica, determinada por la distribución de las lluvias.

Brillo solar y café en sistemas agroforestales.

Al igual que en sistemas de producción a libre exposición

solar, **en sistemas agroforestales la producción de café se relaciona directamente con el brillo solar pero en diferente magnitud, debido fundamentalmente al efecto de la sombra de los árboles.**

A partir del trabajo de Farfán y Mestre (2005), se analiza el efecto de la producción acumulada de café en un ciclo de 7 años, con seis cosechas en Pueblo Bello (Cesar), es así como a medida que se reduce la densidad del sombrío, por ejemplo, al pasar de 278 árboles/ha de sombrío a 70 árboles/ha se incrementa la producción de café a una misma densidad del café (4.444 árboles/ha) de 0,55 a 0,89 kg.ha⁻¹ de c.p.s. por hora de brillo solar acumulada (Figura 5).

El porcentaje de cobertura vegetal arbórea en sistemas agroforestales con café o sombrío óptimo para cada zona, lo determina el brillo solar de la zona (Farfán y Jaramillo, 2009), por ejemplo, en una localidad como Pueblo Bello (Cesar) con 2.147 horas de brillo solar al año, el porcentaje de sombrío máximo recomendado sería de 42%, mientras que zonas con menor brillo solar, como Jorge Villamil en Gigante (Huila) con 1.153 horas de brillo solar al año, el porcentaje de sombrío máximo recomendado sería de 22,6%.

Brillo solar - floración. La floración del café es una respuesta fenológica al cambio en los estímulos ambientales y es un indicador de potencial productivo del cultivo de café.

Se ha observado que existe una relación directa entre el número de botones florales y el brillo solar (Castillo y López, 1966; Jaramillo y Valencia, 1980); Ramírez *et al.* (2010a), encontraron que **existe una relación negativa entre el déficit de brillo solar (DBS) y el número de botones florales**, lo que indica que días de poco brillo solar, no favorecen la formación de botones florales, lo anterior desde el punto de vista práctico significa que como mínimo para una adecuada floración se requiere un déficit del brillo solar promedio diario, por trimestre, no mayor de 7,2 horas/día lo que equivale a un brillo solar

Fecha de siembra	Latitud Norte						
	12 °N	10°N	8° N	6°N	4°N	2°N	1°N
	Brillo solar astronómico acumulado (horas)						
Marzo (Primer semestre)	6.553	6.541	6.528	6.516	6.504	6.492	6.489
Septiembre (Segundo semestre)	6.406	6.419	6.431	6.444	6.456	6.468	6.474
Diferencia	147	122	97	72	48	24	15

Tabla 4.

Brillo solar astronómico acumulado desde la siembra a la primera cosecha (18 meses), para dos épocas de siembra durante el año.

Estación agroclimatológica	Municipio	Mes de siembra		Diferencia absoluta
		Marzo	Septiembre	
Cesar				
Brillo solar acumulado (Horas)				
Pueblo Bello	Pueblo Bello	3.500	3.638	138
Norte de Santander				
Brillo solar acumulado (Horas)				
Blonay	Chinácota	2.246	2.301	55
G M Barriga	Convención	2.227	2.139	88
Francisco Romero	Salazar	2.384	2.361	24
Santander				
Brillo solar acumulado (Horas)				
San Antonio	Floridablanca	1.961	2.065	104
El Roble	Los Santos	2.945	3.043	97
Aguasblancas	San Vicente	2.209	2.161	48
A. Santos	Socorro	3.345	3.440	96
Boyacá				
Brillo solar acumulado (Horas)				
Bertha	Moniquirá	2.783	2.921	138
Cundinamarca				
Brillo solar acumulado (Horas)				
G Villamaría	Anolaima	2.817	2.815	2
Mesitas S. Inés	Cachipay	2.219	2.231	12
La Arcadia	El Colegio	1.373	1.478	105
Santa Rosita	El Peñón	2.273	2.225	49
Misiones	Mesitas del Colegio	1.684	1.793	109
Sta. Bárbara	Sasaima	2.065	2.090	25
G. Tibacuy	Tibacuy	2.315	2.443	128
Hda. Java	Viotá	1.863	1.943	80
Montelíbano	Yacopí	2.676	2.649	26
Tolima				
Brillo solar acumulado (Horas)				
El Limón	Chaparral	2.477	2.428	49
El Campín	Dolores	2.287	2.296	8
La Montaña	Dolores	2.692	2.633	59
Chapetón	Ibagué	2.646	2.588	58
La Trinidad	Líbano	2.368	2.277	91
L. Bustamante	Villarrica	1.587	1.561	26
Huila				
Brillo solar acumulado (Horas)				
J. Villamil	Gigante	1.842	1.909	67
Antioquia				
Brillo solar acumulado (Horas)				
El Trapiche	C. Bolívar	3.067	2.954	113
Cocorná	Cocorná	3.140	3.030	110
Piamonte	Fredonia	2.948	2.935	14
M. Valencia	Jardín	2.745	2.670	76
La Cristalina	Támesis	3.263	3.238	24
Virgen de Oro	Támesis	2.163	2.194	31

Tabla 5.

Brillo solar acumulado a partir de la serie histórica en diferentes zonas del país, durante 18 meses en promedio, que puede durar la siembra a la primera cosecha, para dos épocas de siembra en el año, marzo y septiembre (Adaptado de Ramírez et al., 2012a).

Continúa...

...continuación

Estación agroclimatológica	Municipio	Mes de siembra		Diferencia absoluta
		Marzo	Septiembre	
El Rosario	Venecia	3.090	3.006	84
Caldas				
Brillo solar acumulado (Horas)				
Bellavista	Anserma	2.212	2.151	61
Cenicafé	Chinchiná	2.614	2.639	25
Naranjal	Chinchiná	2.638	2.652	13
El Algarrobo	Manizales	2.617	2.651	35
Llanadas	Manzanares	2.497	2.417	80
Santa Helena	Marquetalia	2.431	2.317	114
Granja Luker	Palestina	2.961	2.967	6
Santágueda	Palestina	2.997	3.015	18
R. Escobar	Supía	3.038	3.017	22
Risaralda				
Brillo solar acumulado (Horas)				
La Elvira	Belén de Umbría	2.221	2.155	66
Ospirma	Guática	2.783	2.750	33
El Pilamo	Pereira	2.643	2.711	68
La Catalina	Pereira	2.450	2.472	22
La Joya	Pereira	2.751	2.788	37
El Jazmín	Sta. Rosa de Cabal	2.235	2.228	7
Quindío				
Brillo solar acumulado (Horas)				
El Sena	Armenia	2.138	2.057	80
Paraguacito	Buenavista	2.612	2.630	18
La Bella	Calarcá	2.147	2.113	34
El Agrado	Montenegro	2.522	2.500	22
Maracay	Quimbaya	2.427	2.376	51
Valle				
Brillo solar acumulado (Horas)				
A. Gómez	Alcalá	2.652	2.619	33
Venecia	Caicedonia	2.696	2.672	24
Albán	El Cairo	2.392	2.244	148
La Selva	Ginebra	1.766	1.712	54
J. Fernández	Restrepo	2.631	2.623	8
H. Uribe	Sevilla	2.099	2.011	88
La Sirena	Sevilla	2.038	1.983	55
M. M. Mallarino	Trujillo	2.435	2.376	59
Cauca				
Brillo solar acumulado (Horas)				
Manuel Mejía	El Tambo	2.687	2.645	42
La Trinidad	Piendamó	2.385	2.330	55
La Florida	Popayán	2.644	2.660	16

Continúa...

...continuación

Estación agroclimatológica	Municipio	Mes de siembra		Diferencia absoluta
		Marzo	Septiembre	
Nariño				
Brillo solar acumulado (Horas)				
Ospina Pérez	Consacá	2.631	2.604	27
El Sauce	La Unión	2.527	2.424	103
La Unión	La Unión	2.468	2.275	193

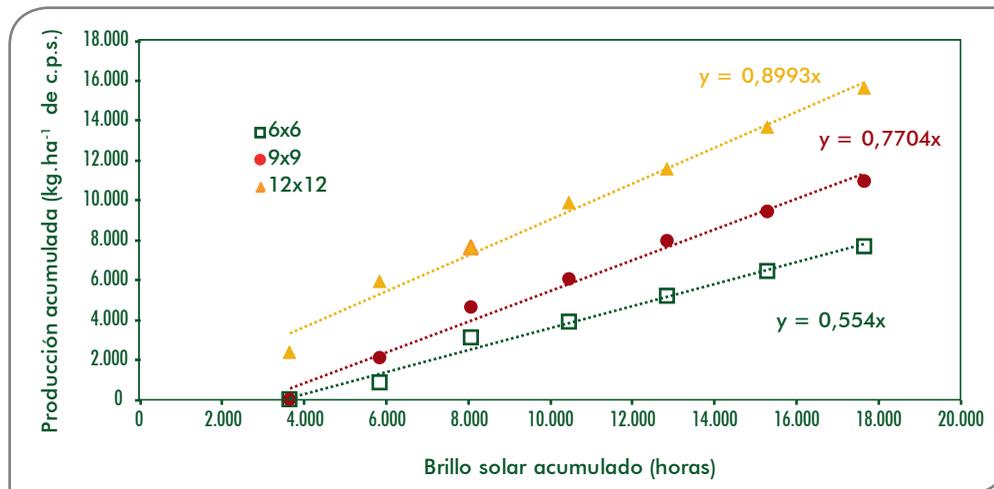


Figura 5.

Relación entre el brillo solar acumulado y la producción acumulada de café con tres densidades de siembra de sombrío de guamo (6,0 x 6,0 m, 9,0 x 9,0 m y 12,0 x 12,0 m), la distancia de siembra del café fue 1,5 x 1,5 m (Adaptado de Farfán y Mestre, 2005).

promedio de 4,8 horas/día (1.750 h.año⁻¹), si el brillo solar promedio es superior a este valor, deja de ser un factor limitante en la floración (Ramírez et al., 2010; Ramírez et al., 2011).

Lo anterior coincide con la relación brillo solar y la producción, en donde se definió un valor de 1.700 h.año⁻¹ a partir del cual el potencial productivo es alto.

Radiación

La radiación es la cantidad de energía que llega a un área en un período de tiempo determinado. Es la base de todos los procesos físicos y biológicos que ocurren en la Tierra.

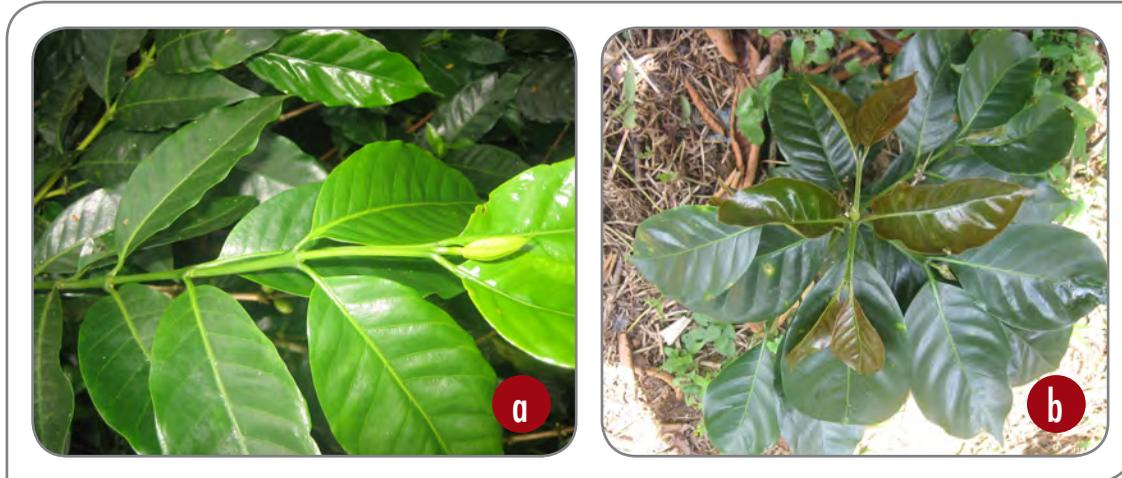
La radiación solar que llega a la superficie terrestre, conocida como radiación global, se divide en dos tipos a saber: Radiación directa y radiación difusa, la radiación directa es aquella que puede quemar el papel del heliógrafo y se cuantifica como brillo solar, y la radiación difusa es aquella radiación de menor intensidad, que no alcanza a quemar el papel del heliógrafo y se presenta en días nublados o de alta contaminación atmosférica.

Calidad de la radiación y fenología. Cuando la proporción de radiación difusa es mayor que la directa (Brillo solar), la planta de café muestra respuestas fenológicas

particulares tales como alargamiento de entrenudos (Figura 6a), e incremento del área foliar (Figura 6b). **Desde el punto de vista productivo, el alargamiento de los entrenudos significa una reducción en la producción, y una mayor área foliar puede ir en detrimento del crecimiento reproductivo.**

Por ejemplo, dos Santos et al. (2011), para seis variedades de café en Brasil (Catucaí, Oeinas, Tupi, Icatu, Obatá y Catucaí), por efecto del sombrío, reportan reducción en el número de nudos, aumento en la distancia entre nudos y en el número de hojas respecto a condiciones de libre exposición solar.

En Colombia, Ramírez (2012, datos sin publicar), ha observado que plantas de café en almácigo, sembradas el mismo día con polisombra (material sintético que permite filtrar la radiación solar y generar sombrío artificial en los cultivos) y sin polisombra, tienen diferencias en el área foliar al sexto mes de sembradas, es así como las plantas que crecieron bajo polisombra tienen un área foliar promedio de 683,0 cm²/planta, mientras que aquellas que crecieron a libre exposición solar al sexto mes tienen un área foliar promedio de 339,5 cm²/planta. Además de las diferencias en el área foliar, las plantas que crecen bajo sombra tienen mayores concentraciones de clorofila, que se ve reflejada en el color de las hojas (Figura 7).

**Figura 6.**

Efectos de la calidad de la luz sobre el café.
a. Alargamiento de entrenudos en café;
b. Aumento del tamaño de las hojas (área foliar).

**Figura 7.**

Diferencias en área foliar y tonalidad de la hoja en plantas de café que crecieron en almacigo, sembradas el mismo día en condiciones de libre exposición solar y polisombra (Plantas de 11 meses, 6 meses en almacigo y 5 meses en el campo).

Fotoperíodo

El fotoperíodo hace referencia a la duración del día, el cual depende de la época del año y de la latitud. En las zonas cercanas al Ecuador (0° latitud Norte o Sur) la duración del día es igual a la de la noche, en la medida que se aleje del Ecuador, hacia el Norte o hacia el Sur, la longitud del día será diferente a la de la noche, dependiendo de la época del año.

La zona cafetera de Colombia, se ubica desde 1° latitud Norte (Departamento de Nariño) hasta los 12° latitud Norte (Departamento de La Guajira). En un estudio reciente de Peña *et al.* (2011), se encontró que en Colombia el número de botones florales se correlaciona inversamente con el fotoperíodo 3 meses antes, en latitudes superiores a 4°30' latitud Norte, lo que significa que en las zonas donde un gran porcentaje de la floración se presenta entre los meses de febrero-abril, el cambio de estación en septiembre (Equinoccio de otoño) genera una disminución en el fotoperíodo de más

de 30 minutos, entre junio y diciembre, el cual favorece la diferenciación floral, esto indica que la diferenciación de las floraciones que se observan entre enero y abril se presenta entre septiembre y diciembre (Figura 8). Camayo y Arcila (1996) indicaron que el fenómeno de floración en café da inicio entre 4 y 5 meses antes de la antesis o apertura de la flor.

La reducción en el fotoperíodo y los cambios diarios de temperatura estimulan las yemas para que se conviertan en yemas florales, que después de 1 a 5 meses van a ser botones florales.

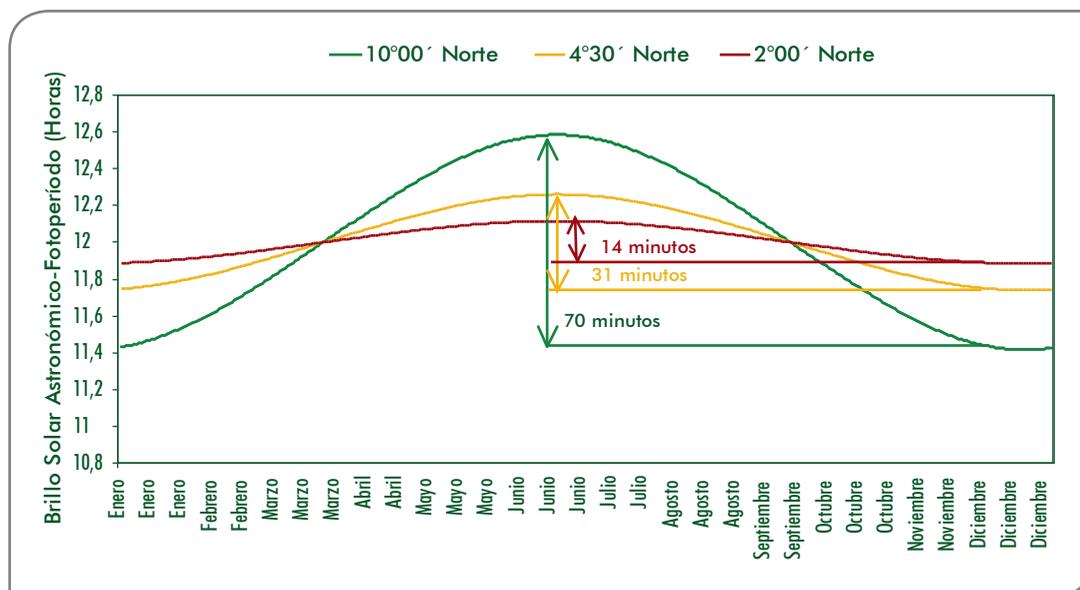


Figura 8.

Comportamiento del fotoperíodo en Colombia de acuerdo a la latitud. Se observa que zonas ubicadas por encima de los 4°30' latitud Norte tienen diferencias en el fotoperíodo mayores a 30 minutos, entre junio y diciembre.

Temperatura

Es el calentamiento del aire producto de la radiación que emite la Tierra hacia la atmósfera.

Temperatura fenología y producción. La temperatura del aire determina la duración de los procesos fenológicos como el tiempo transcurrido desde la siembra a la primera floración, a la primera cosecha, al máximo desarrollo foliar y la curva de desarrollo del fruto de café. Es así como por ejemplo a una temperatura de 14°C promedio, la primera cosecha de café se estima que se estaría presentando a los 1.438 días (48 meses) y el máximo desarrollo foliar a los 3.398 días (113 meses); a temperaturas promedio

de 20 a 21°C, la primera cosecha de café se estima que se estaría presentando a los 575-523 días (Entre 19 y 17 meses) y el máximo desarrollo foliar a los 1.359-1.236 días (Entre 45-41 meses) (Tabla 6).

Desde el punto de vista práctico, en la medida que se ascienda en altitud se alarga la longitud del período productivo del cultivo (Figura 9). Es importante anotar que son estimativos, sin limitantes en la disponibilidad de agua en el suelo y de nutrición.

La acumulación térmica condiciona la respuesta al brillo solar. Por ejemplo, en zonas con baja acumulación térmica como El Rosario en Venecia (Antioquia),

Temperatura media (°C)	Primera cosecha (Días)	Máximo desarrollo foliar (Días)
14	1.438	3.398
15	1.150	2.718
16	958	2.265
17	821	1.942
18	719	1.699
19	639	1.510
20	575	1.359
21	523	1.236
22	479	1.133
23	442	1.045

Tabla 6.

Relación entre la temperatura media del aire y el número de días desde siembra a primera cosecha y al máximo desarrollo foliar.

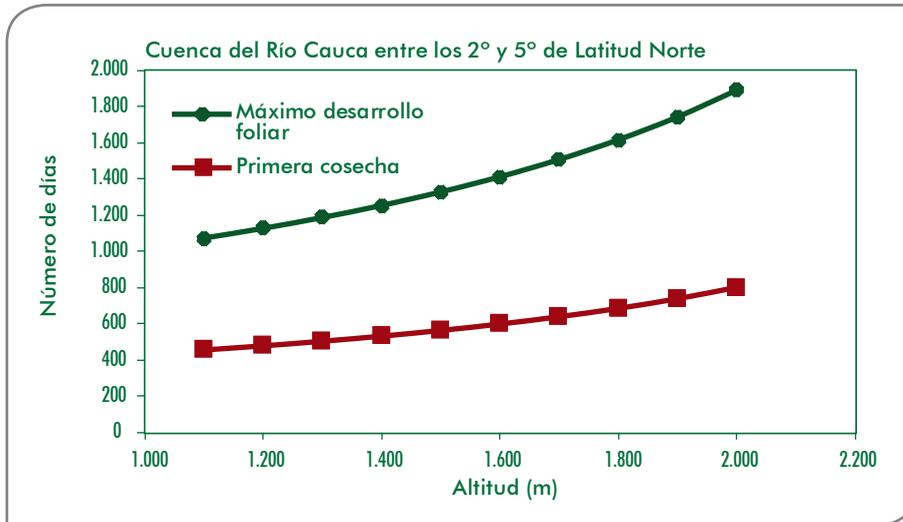


Figura 9.

Relación entre la altitud en una de las zonas cafeteras de Colombia con el número de días de siembra a primera cosecha y el número de días a máximo desarrollo foliar (calculado a partir de Jaramillo y Guzmán, 1984).

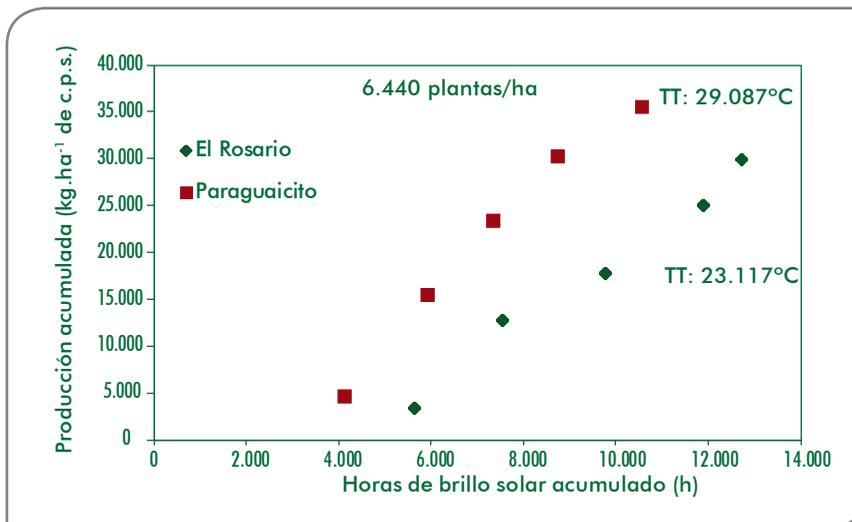


Figura 10.

Relación entre la acumulación térmica y de brillo solar sobre la producción.

ubicada a 1.635 m de altitud (Figura 10), el inicio de la producción se da con mayor brillo solar acumulado, mientras que en zonas de mayor acumulación térmica como Paraguaicito en Buenavista (Quindío), ubicada a 1.203 m, la acumulación térmica presenta sinergia con la acumulación de brillo solar. Lo anterior demuestra que a una misma densidad de siembra, el ciclo productivo en condiciones de baja temperatura es mayor, que en zonas de alta temperatura.

Temperatura y número de botones florales. La acumulación térmica o tiempo térmico (TT) se relaciona directamente con el número de botones florales en café, por cada trimestre (Noviembre-enero, febrero-abril, mayo-julio, agosto-octubre), iniciando 20 días antes; para una adecuada floración, más de 2.000 botones florales/30 plantas, se requiere como mínimo de una acumulación térmica superior a los 1.100°C, valor por

debajo del cual se disminuye la floración (Ramírez et al., 2010a; Ramírez et al., 2011).

Consideraciones prácticas

En las zonas donde la temperatura media del aire es igual o superior a 20°C, la temperatura no es una limitante para la floración.

Basados en el estudio de regionalización de la temperatura del aire en Colombia (Chaves y Jaramillo, 1998), por zonas se pueden identificar los pisos térmicos óptimos para la

floración del café. Por ejemplo, en la zona andina (Cuenca de los ríos Cauca y Magdalena), los 20°C se encuentran en altitudes promedio de 1.550 m, en la región Atlántica a los 1.400 m y en la región Pacífica, en la Orinoquía y Amazonía a los 1.200 m, por encima de estas altitudes disminuye la temperatura y empieza a ser limitante y más vulnerable a la variabilidad climática (Ver capítulos de Gestión del riesgo agroclimático).

Densidad de siembra y temperatura. Las tasas de desarrollo del cultivo del café en condiciones de adecuada disponibilidad de agua en el suelo, se relacionan directamente con la temperatura media del aire, en la medida que la temperatura media del aire disminuye, se reducen las tasas de desarrollo del cultivo, lo que significa que el crecimiento se hace más lento, una forma de disminuir el efecto de la reducción de crecimiento por efecto de la temperatura es a través del incremento de las densidades de siembra (Ver capítulos de Gestión del Riesgo agroclimático y Establecimiento de cafetales al sol).

Amplitud térmica

Es la diferencia entre la temperatura máxima que se registra entre las 13:00 y las 14:00 horas y la mínima que se registra entre las 5:00 y las 6:00 horas del día.

Amplitud térmica y floración. Una de las características de la zona cafetera Colombiana, es que la variación estacional de la temperatura no es de gran magnitud, a excepción un poco de la zona Norte del país; pero sí hay una variación diaria conocida como la **amplitud térmica (AT)** que es importante e influye sobre los agroecosistemas, la cual puede alcanzar hasta 20°C (Jaramillo, 2005). Otra característica de la zona andina Colombiana, es que la amplitud térmica disminuye cuando se asciende en altura, y los meses secos del año son los que presentan mayor amplitud térmica respecto a los meses húmedos (Ramírez *et al.*, 2010).

Desde el punto de vista fenológico, Ramírez *et al.* (2010a) afirman que la amplitud térmica se convierte en otro estímulo para la floración, y que puede actuar como diferenciador de yemas florales y en el rompimiento de la latencia.

Para que la amplitud térmica pueda influir directamente sobre la floración, por trimestre (Noviembre-enero, febrero-abril, mayo-julio, agosto-octubre), iniciando 20 días antes, se requiere como mínimo de 60 días con amplitud térmica superior a 10°C, esto significa que no se presenten más de 50 días por trimestre con amplitud térmica inferior a 10°C, lo que indica que diferencias entre la temperatura máxima y mínima superiores a 10°C son más favorables para una apropiada floración.

Esto explica el porqué los mayores porcentajes de floración en la zona cafetera de Colombia se presentan al final de los períodos secos (Figura 11), dado que es ahí en donde se concentra el estímulo del déficit hídrico, que permite concentrar la latencia y se acumula el mayor número de días con $AT > 10^{\circ}C$, generando la diferenciación de nuevas yemas florales, ambos actuando de manera sinérgica (Ramírez *et al.*, 2010a; Ramírez *et al.*, 2011)

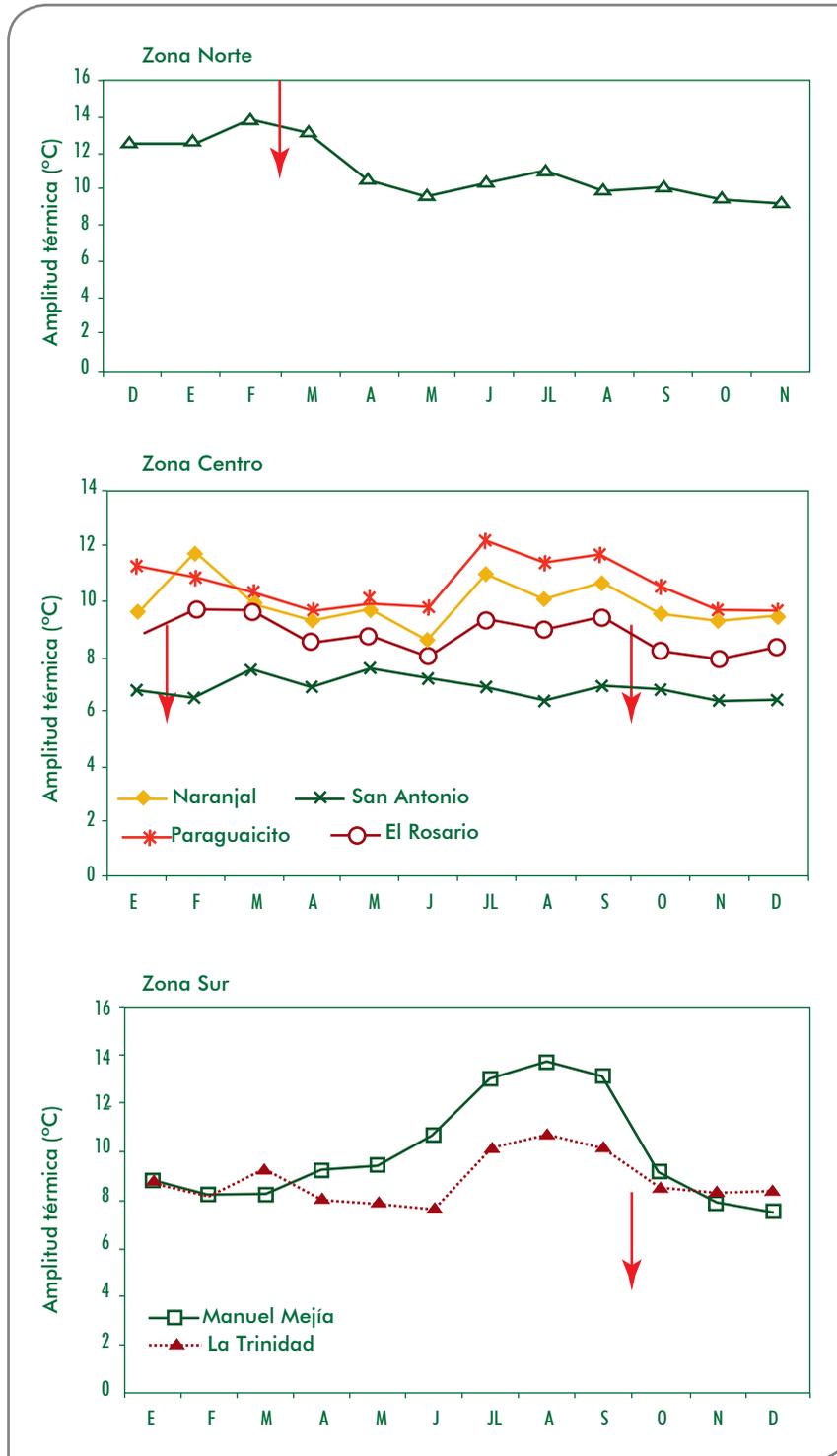
En zonas en donde el déficit hídrico es escaso, la AT es el principal elemento estimulante de la floración, pero en la medida que se asciende en altitud, se disminuya en brillo solar y en la temperatura y exista menor déficit hídrico, la floración tiende a ser escasa y muy repartida, debido a que el estímulo de la AT disminuye con altitud y la acumulación térmica es menor.

Consideraciones prácticas

La utilidad práctica de conocer el efecto de los estímulos ambientales, como la reducción en 30 min. en el fotoperíodo y la amplitud térmica $> 10^{\circ}C$, nos ayuda a definir estrategias desde la agronomía, que permitan el mayor aprovechamiento de estos estímulos en función de la productividad del cultivo del café, tal es el caso de la época de siembra.

En la Tabla 7 se muestra un ejemplo de la relación que hay entre la época de siembra y la formación de estructuras del cultivo de café y su relación con el mejor aprovechamiento de los estímulos antes mencionados, si se presume que el cultivo de café cada mes, en promedio, forma un par de ramas primarias o cruz (Arcila, 2007), se calcula el número de cruces formadas desde la siembra, en cada uno de los semestres del año, y el número de cruces formadas en los momentos donde se presentan los mayores estímulos para la diferenciación de las yemas florales. De esta manera:

- Un cultivo sembrado en el primer semestre (Marzo), al segundo año, en el mes de junio, tendría aproximadamente 17 cruces para lograr el estímulo de diferenciación por amplitud térmica
- Un cultivo sembrado en el segundo semestre (Septiembre), al segundo año, en el mes de junio, solo tendría 11 cruces para lograr el estímulo
- En el mes de noviembre del segundo año, la siembra de marzo tendría 22 cruces para lograr el estímulo de diferenciación por reducción por fotoperíodo
- La siembra de septiembre solo tendría solo 16 cruces.

**Figura 11.**

Distribución de la amplitud térmica en diferentes localidades de la zona cafetera Colombiana y picos de floración (Ramírez et al., 2011). Las flechas indican picos de floración

Al finalizar los dos ciclos (7 años-77 cruces), la siembra del primer semestre acumuló 70 cruces, que lograron el estímulo de fotoperíodo, contra 64 de la siembra de septiembre (Tabla 8); esto sugiere que las siembras en las zonas central y norte del país deben hacerse durante el primer semestre del año cuando la disponibilidad hídrica lo permita.

Para la zona sur del país, por debajo de los $04^{\circ}30'$ latitud Norte, el cambio en fotoperíodo de junio a diciembre es inferior a 30 minutos y no se relaciona con la floración del primer semestre del año, lo que significa que estas zonas sólo dependen del estímulo a la diferenciación por cambios en la amplitud térmica, la cual se presenta en los meses de junio, y que

Estímulo	Año	Mes	Época de siembra No. de cruces	
	1	E		
	1	F		
	1	M	2	
	1	A	3	
	1	MY	4	
	1	JU	5	
	1	JL	6	
	1	A	7	
	1	S	8	2
Estm-FT	1	O	9	3
Estm-FT	1	N	10	4
	1	D	11	5
Flor	2	E	12	6
Flor-Estim-AT	2	F	13	7
Flor-Estim-AT	2	M	14	8
Flor-Estim-AT	2	A	15	9
	2	MY	16	10
Estm-AT	2	JU	17	11
Flor-Estim-AT	2	JL	18	12
Flor-Estim-AT	2	A	19	13
Flor	2	S	20	14
Estm-FT	2	O	21	15
Estm-FT	2	N	22	16
	2	D	23	17
Flor	3	E	24	18
Flor-Estim-AT	3	F	25	19
Flor-Estim-AT	3	M	26	20
Flor-Estim-AT	3	A	27	21
	3	MY	28	22
Estm-AT	3	JU	29	23
Flor-Estim-AT	3	JL	30	24
Flor-Estim-AT	3	A	31	25
Flor	3	S	32	26
Estm-FT	3	O	33	27
Estm-FT	3	N	34	28
	3	D	35	29
Flor	4	E	36	30
Flor-Estim-AT	4	F	37	31
Flor-Estim-AT	4	M	38	32
Flor-Estim-AT	4	A	39	33
	4	MY	40	34
Estm-AT	4	JU	41	35
Flor-Estim-AT	4	JL	42	36
Flor-Estim-AT	4	A	43	37

Estímulo	Año	Mes	Época de siembra No. de cruces	
Flor	4	S	44	38
Estm-FT	4	O	45	39
Estm-FT	4	N	46	40
	4	D	47	41
Flor	5	E	48	42
Flor-Estim-AT	5	F	49	43
Flor-Estim-AT	5	M	50	44
Flor-Estim-AT	5	A	51	45
	5	MY	52	46
Estm-AT	5	JU	53	47
Flor-Estim-AT	5	JL	54	48
Flor-Estim-AT	5	A	55	49
Flor	5	S	56	50
Estm-FT	5	O	57	51
Estm-FT	5	N	58	52
	5	D	59	53
Flor	6	E	60	54
Flor-Estim-AT	6	F	61	55
Flor-Estim-AT	6	M	62	56
Flor-Estim-AT	6	A	63	57
	6	MY	64	58
Estm-AT	6	JU	65	59
Flor-Estim-AT	6	JL	66	60
Flor-Estim-AT	6	A	67	61
Flor	6	S	68	62
Estm-FT	6	O	69	63
Estm-FT	6	N	70	64
	6	D	71	65
Flor	7	E	72	66
Flor-Estim-AT	7	F	73	67
Flor-Estim-AT	7	M	74	68
Flor-Estim-AT	7	A	75	69
	7	MY	76	70
Estm-AT	7	JU	77	71
Flor-Estim-AT	7	JL		72
Flor-Estim-AT	7	A		73
Flor	7	S		74
Estm-FT	7	O		75
Estm-FT	7	N		76
	7	D		77

Tabla 7.

Relación entre dos épocas de siembra, número potencial de cruces formadas, estímulo de floración por fotoperíodo y épocas de floración del primer semestre del año.

Estm-FT Estímulo por Fotoperíodo
Flor-Estim-AT Floración y estímulo por amplitud térmica
Flor Floración
Renovación

Año	Estímulo en noviembre por reducción en fotoperíodo Floración de principal (Cosecha II semestre)			
	Siembra en marzo		Siembra en septiembre	
	No. cruces	Diferencia	No. cruces	Diferencia
2	22	22	16	16
3	34	12	28	12
4	46	12	40	12
5	58	12	52	12
6	70	12	64	12
7				
Total cruces	70		64	

Tabla 8.

Número de cruces potencialmente formadas en café durante 6 años, para dos épocas de siembra diferentes, primer semestre (Marzo) y segundo semestre (Septiembre), para una zona con mayor distribución de cosecha hacia el segundo semestre del año, donde la floración principal está influenciada por el estímulo de reducción de fotoperíodo calculado en noviembre, y la floración de mitaca (Cosecha de primer semestre) se da por el estímulo de amplitud térmica de mitad de año.

Año	Estímulo en junio por amplitud térmica Floración de mitaca (Cosecha I semestre)			
	Siembra en marzo		Siembra en septiembre	
	No. cruces	Diferencia	No. cruces	Diferencia
2	17	17	11	11
3	29	12	23	12
4	41	12	35	12
5	53	12	47	12
6	65	12	59	12
7				
Total cruces	65		59	
Fecha de Renovación	Junio		Diciembre	

corresponde a la floración de los meses de agosto a octubre, que determina la cosecha principal de primer semestre, y la amplitud térmica del mes de febrero que determina la floración de marzo a abril, correspondiente a la cosecha de mitaca de segundo semestre (Tabla 9); en este caso, aún sin el estímulo por fotoperíodo, es mejor hacer las siembras en el primer semestre, ya que en el segundo semestre del año, después de la siembra, las plantas sembradas en marzo tendrán 17 cruces para recibir el estímulo de la amplitud térmica, mientras que la siembra de septiembre solo tendrán 11 cruces, y así sucesivamente al finalizar el ciclo la siembra de primer semestre los cafetos habrán tenido mayor proporción de cruces que aprovecharon el estímulo de la amplitud térmica para la floración que las siembras de segundo semestre.



Si la temperatura media del aire y la humedad relativa son muy altas, se corre el riesgo que se presenten daños en las flores como “flor estrellada” y pudrición de botones florales, y si la zona es de mucho brillo solar y altas temperaturas se corre el riesgo de generar golpe de sol en botones florales.

Año	Estímulo en junio por amplitud térmica Floración de principal (Cosecha I semestre)			
	Siembra en marzo		Siembra en septiembre	
	No. cruces	Diferencia	No. cruces	Diferencia
2	17	17	11	11
3	29	12	23	12
4	41	12	35	12
5	53	12	47	12
6	65	12	59	12
7				
Total cruces	65		59	

Tabla 9.

Número de cruces potencialmente formadas en café durante 6 años, para dos épocas de siembra diferentes, primer semestre (Marzo) y segundo semestre (Septiembre), para una zona con mayor distribución de cosecha hacia el primer semestre del año, donde la floración principal está influenciada por el estímulo de la amplitud térmica en junio, y la floración de mitaca (Cosecha de segundo semestre) se da por el estímulo de amplitud térmica a principios de año.

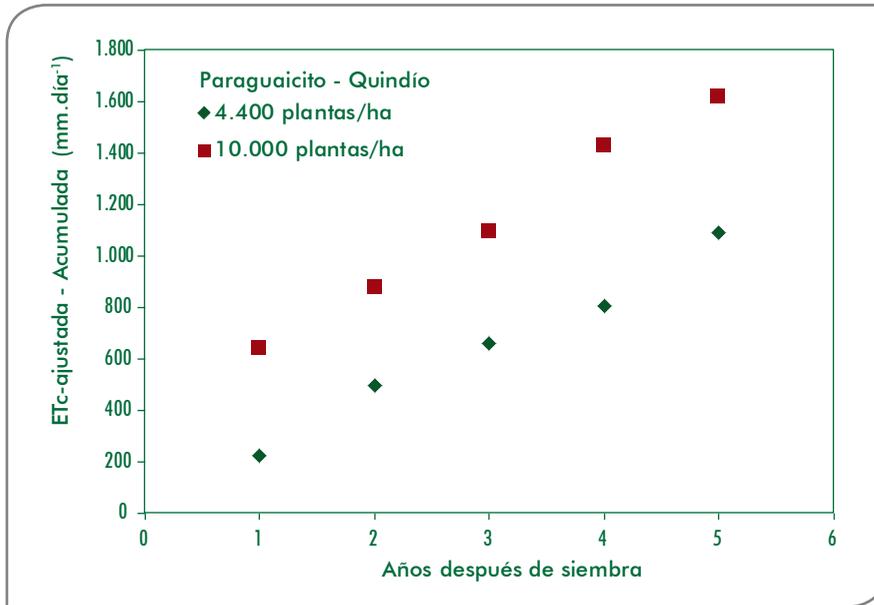
Año	Estímulo en febrero por amplitud térmica Floración de mitaca (Cosecha II semestre)			
	Siembra en marzo		Siembra en septiembre	
	No. cruces	Diferencia	No. cruces	Diferencia
2	14	14	8	8
3	26	12	20	12
4	38	12	32	12
5	50	12	44	12
6	62	12	56	12
7			68	12
Total cruces	62		68	
Fecha de Renovación	Junio		Diciembre	

Disponibilidad hídrica

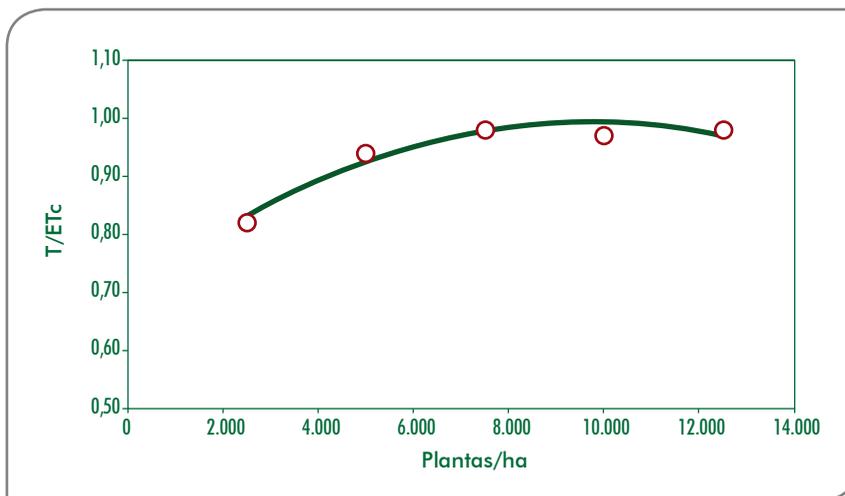
El agua en el suelo es necesaria para todos los procesos de crecimiento y desarrollo del cultivo, y además, es el medio de transporte de los nutrientes provenientes del suelo. Los requerimientos hídricos de un cultivo hacen referencia a la cantidad de agua que necesita la planta para suplir la demanda evaporativa de la atmósfera y, por lo tanto, la disponibilidad hídrica debe ser como mínimo igual a los requerimientos hídricos. El cultivo de café suple la demanda evaporativa de la atmósfera a través de dos procesos: i) La transpiración, que es un proceso físico-fisiológico y ii) La evaporación, que es un proceso físico, por lo tanto, la cantidad de agua que extrae el cultivo para suplir la demanda evaporativa de la atmósfera depende de la densidad de siembra, la edad del cultivo y el tipo de sistema de producción (libre exposición o agroforestal).

En la Figura 12 se muestra cómo un cultivo bajo una misma demanda evaporativa (Igual zona), al aumentar en área foliar o años después de siembra aumenta la evapotranspiración acumulada (ET_c -ajustada), y dicho incremento es mayor en una densidad alta (10.000 plantas/ha) que en una densidad baja (4.400 plantas/ha).

La densidad de siembra influye directamente en el incremento de área foliar por unidad de área o índice de área foliar. Es así como al incrementar la densidad de siembra aumenta el área de transpiración o área para intercambio gaseoso (Figura 13) hasta un punto máximo. Por ejemplo, al momento del máximo desarrollo foliar, en bajas densidades de siembra como 2.500 a 4.000 plantas/ha, entre el 82% y el 88% de la evapotranspiración (ET_c) es transpiración (T), lo que significa que entre un 18% y 12% del agua del sistema se pierde por evaporación del suelo, y no se aprovecha en intercambio gaseoso, por el contrario, en densidades de

**Figura 12.**

Relación entre la evapotranspiración del café ajustada por déficit y exceso hídrico en dos densidades, con los años después de la siembra.

**Figura 13.**

Relación entre la densidad de siembra y el porcentaje de agua que toma el cultivo por transpiración (T) del total de la evapotranspiración del cultivo (ETc).

siembra superiores a 7.500 plantas/ha, más del 98% de la evapotranspiración es transpiración, lo que demuestra un mejor aprovechamiento del agua, y un intercambio gaseoso más eficiente en función de la producción.

Existen otros factores que actúan en determinados momentos para controlar la evapotranspiración en las condiciones donde el cultivo, bien sea por déficit hídrico o por exceso hídrico, no puede suplir la demanda evaporativa de la atmósfera, y es así como la planta activa mecanismos para controlar el intercambio gaseoso y, por lo tanto, disminuye la transpiración; en el caso del café, uno de esos mecanismos es el cierre estomático, el cual se da en condiciones de déficit y

de exceso hídrico (Gómez, 2000), y en ambos casos la evapotranspiración del cultivo se limita, y es lo que se llama evapotranspiración ajustada.

Al relacionar la evapotranspiración del cultivo ajustada por déficit y exceso hídrico, se observa una relación directa entre la producción acumulada de café durante el ciclo de producción con la ET_c -ajustada. En el caso de la Figura 14 se observa la ET_c -ajustada para tres localidades de la zona cafetera, relacionada con la producción, incluye dentro de su cálculo la densidad, la cual como se dijo anteriormente influye sobre el índice de transpiración/evaporación.

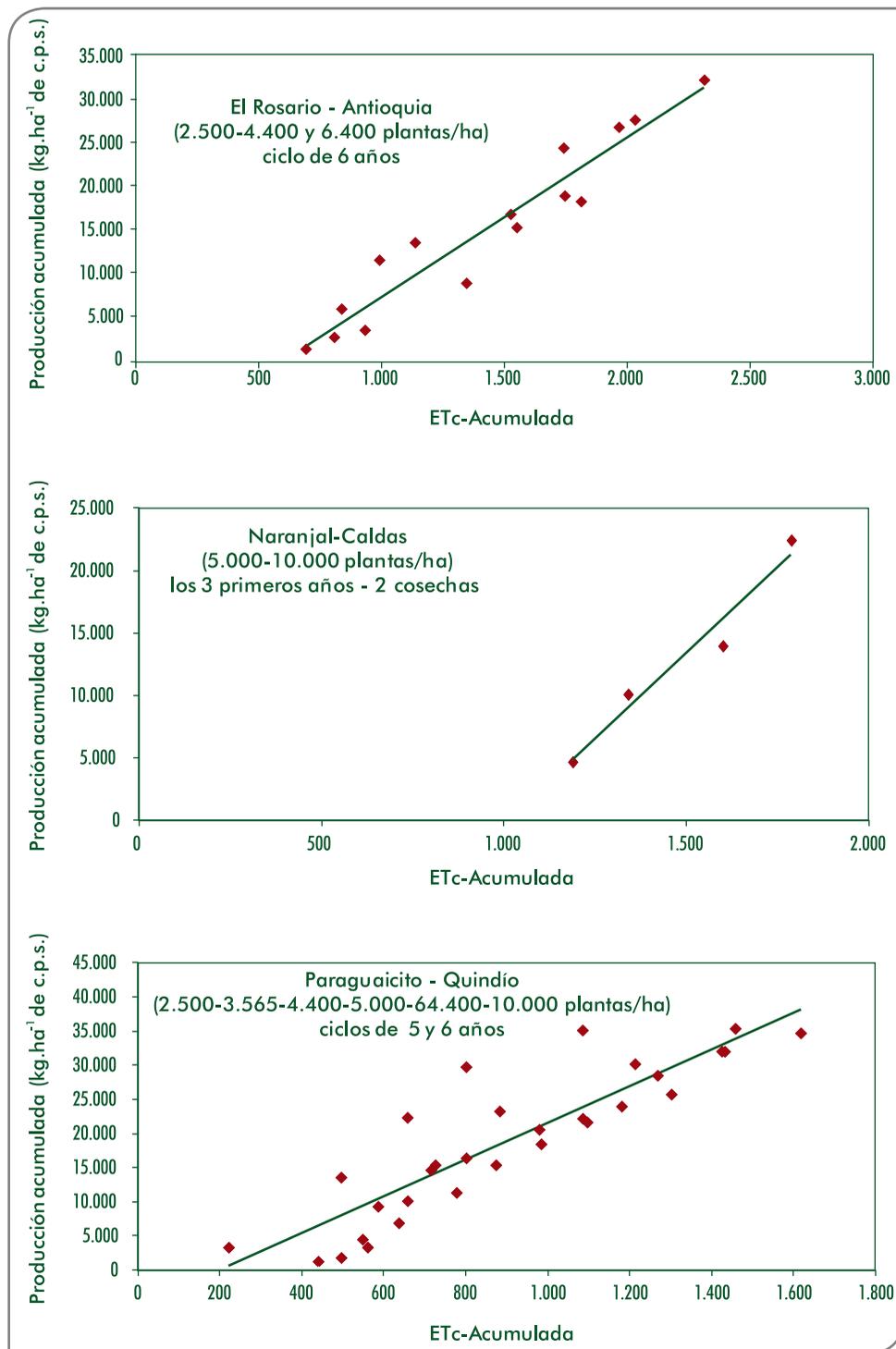


Figura 14.

Relación entre la producción acumulada de café en tres localidades y en diferentes densidades de siembra, con la evapotranspiración ajustada por déficit y exceso hídrico.

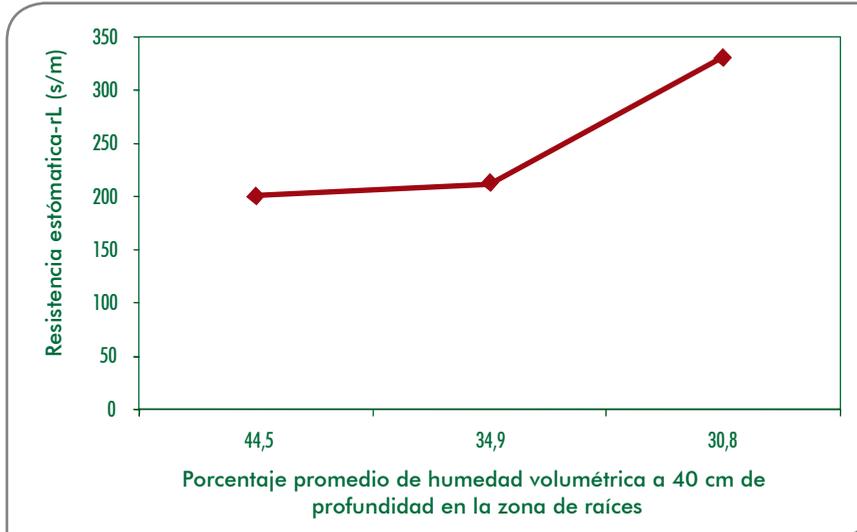
En la medida que un cultivo incrementa su evapotranspiración, está incrementando su intercambio gaseoso (Libera vapor de H₂O y toma CO₂), está moviendo más agua y nutrientes del suelo y está recibiendo más energía desde la atmósfera, cuando se presentan condiciones limitantes para el intercambio gaseoso, se reduce la ET_c-ajustada y, por lo tanto, se reduce la productividad del cultivo.

Déficit hídrico fenología y producción. El déficit hídrico en café depende de la magnitud y la duración del mismo. Cuando el déficit hídrico es moderado se presentan síntomas asociados a pérdida de turgencia de las hojas o deshidratación y caída en el ángulo de inclinación foliar (Figura 15a), los estomas se cierran reduciendo el intercambio gaseoso, como se observa en la Figura 16, en donde los estomas aumentan

**Figura 15.**

Síntomas de déficit hídrico en café.

a. Pérdida de turgencia y caída del ángulo de las hojas; **b.** Reducción del área foliar en hojas nuevas y reducción de la distancia entre nudos.

**Figura 16.**

Relación entre la resistencia estomática (A mayor resistencia menor intercambio gaseoso) con la humedad del suelo. Los datos de resistencia son un promedio diario de lecturas entre las 06:00 horas hasta las 18:00 horas, medida en tres tercios de la planta. Datos tomados en la Estación Experimental La Catalina (Pereira, Risaralda), en plantas de café de la Variedad Castillo®.

su resistencia a abrirse (Reducen su apertura), en la medida que disminuye la humedad del suelo. En la medida que el déficit hídrico se hace más prolongado, se empiezan a observar alteraciones morfológicas en la planta como reducción del área foliar de las hojas nuevas y reducción en la distancia de los entrenudos (Figura 15b) y caída prematura de hojas.

Una forma de estimar el déficit hídrico integralmente es empleando índices hídricos, que reúnen los aspectos de

capacidad de retención de humedad del suelo, la edad y densidad del cultivo y la demanda atmosférica, uno de ellos es el índice de déficit hídrico-IDH (Ramírez *et al.*, 2010b).

La magnitud del estrés hídrico de un cultivo por déficit, se estima en función de la reducción de la evapotranspiración real (ET_r) respecto a su valor máximo (ET_m), por lo tanto, el IDH se estima como la reducción de ET_r respecto a la ET_m (Ramírez *et al.*, 2010b)².

² Bajo condiciones de apropiado contenido de agua en el suelo, todo cultivo tiene una evapotranspiración máxima (ET_m) que está en función de variables atmosféricas como la energía disponible, el déficit de presión de vapor y la velocidad del viento, y de variables agronómicas como el porcentaje de cobertura (Densidad de siembra) y la edad (Estado fenológico), las cuales se integran en el coeficiente de cultivo (K_c), y el agua disponible en el suelo. A medida que el suelo se seca, la evapotranspiración máxima del cultivo disminuye y se convierte en evapotranspiración real (ET_r) o evapotranspiración del cultivo ajustada (ET_c -ajustada).

Ecuación 1

$$IDH = \frac{ETr}{ETm} \quad 0 \leq IDH \leq 1,0$$

Si el IDH es igual 1,0 (Ecuación 1), significa que no hay déficit y en la medida que disminuye el IDH de 1,0, indica que el déficit hídrico está aumentando y que el agua disponible en el suelo no es suficiente para suplir la demanda atmosférica y mantener la capacidad máxima de evapotranspiración del cultivo.

En suelos de baja capacidad de retención de agua, como un suelo arenoso, a una tasa constante de evapotranspiración, y para un cultivo en producción en alta densidad, el IDH alcanza valores críticos de déficit hídrico-IDH de 0,2 en 12 días (Figura 17), suelos con mayor capacidad de retención de humedad como los franco-arenoso-limosos y los franco-arenosos con materia orgánica, con igual demanda evapotranspirativa e igual densidad de siembra, alcanzan valores críticos de déficit-IDH de 0,2 entre los 22 y 28 días, respectivamente.

El cultivo del café en Colombia depende exclusivamente del aporte hídrico que hacen las lluvias, a excepción de algunas pequeñas áreas en algunas zonas del país, donde se cuenta con sistemas de riego, pero son áreas pequeñas comparadas con el total del área productiva del país. Por lo tanto, el cultivo es muy vulnerable a condiciones prolongadas de déficit hídrico, especialmente en los períodos de diciembre-marzo y junio-septiembre, que son los históricamente secos, y en los que se encuentra en diferentes estados de desarrollo las cosechas del primer y segundo semestres, respectivamente.

La vulnerabilidad de la cosecha al déficit hídrico depende de la distribución de la cosecha de la zona. Para las zonas de distribución de cosecha centro, centro-norte y centro-

sur, los períodos del año en donde el cultivo es vulnerable al déficit hídrico son de diciembre a marzo y de junio a septiembre, para las zonas con distribución de cosecha norte el período crítico del año al déficit hídrico es de junio a agosto y para las zonas con distribución de cosecha sur el período crítico del año al déficit hídrico es de diciembre a febrero. En estos períodos, dependiendo de la zona, es importante estar pendientes de las alertas climáticas y de las recomendaciones para reducir la vulnerabilidad al déficit hídrico.

Los principales daños ocasionados por el déficit hídrico en café dependen de la etapa de desarrollo en la que se encuentren los frutos, éstos son: granos vanos, negros, parcialmente llenos o completamente vacíos (Ver capítulos de Gestión del riesgo agroclimático). El porcentaje de daño depende de la magnitud del déficit, si el déficit es bajo $IDH < 0,6$ se requieren entre 35 y 40 días para iniciar el daño, y en la medida que aumenta el déficit (Tabla 10), disminuye el número de días para iniciar del daño en frutos, si el déficit hídrico es muy fuerte $IDH < 0,3$ a los 10 días se iniciaría el daño.

Requerimientos hídricos del cultivo de café. El requerimiento hídrico de un cultivo hace referencia a la cantidad de agua que mueve el cultivo desde la

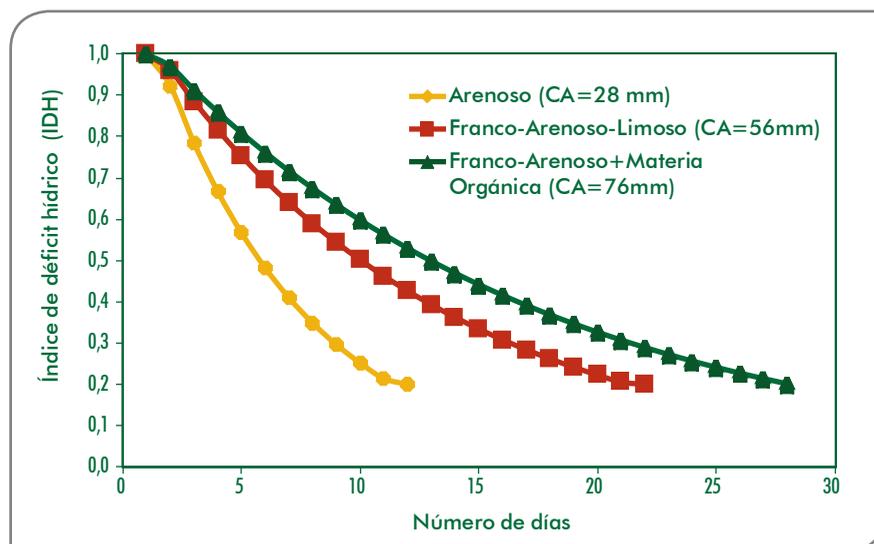


Figura 17.

Número de días en alcanzar déficit hídrico en función de la clase textural del suelo. Cálculo para un cultivo de café en producción asumiendo una tasa de evapotranspiración promedio de 3,5 mm/día, una profundidad de raíces de 40 cm y un $Kc = 1,3$ (CA=Capacidad de almacenamiento de agua del suelo).

Índice de Déficit Hídrico (I.D.H)	No. de días para inicio de daño en frutos
< 0,6	35 y 40
<0,5	28 y 32
<0,4	20 y 23
<0,3	10 y 13

Tabla 10.

Relación entre la magnitud del déficit hídrico y el inicio de daño en frutos de café por falta de agua.

zona de raíces hacia la atmósfera y se conoce como la evapotranspiración del cultivo. La evapotranspiración de un cultivo depende de varios factores a saber:

- **La demanda atmosférica**, que para el caso del café es muy variable por los rangos de altitud en los que se siembra el cultivo, por la influencia de los valles interandinos;
- **La edad del cultivo y la densidad de siembra**, ambos aspectos determinan la profundidad de raíces y el área foliar. En la Tabla 11 se presenta un ejemplo de los requerimientos hídricos calculados para el cultivo de café en un rango altitudinal, tres edades y cinco densidades de siembra, de acuerdo a estos aspectos los requerimientos hídricos del cultivo de café oscilan entre 62 mm.mes^{-1} (755 mm.año^{-1}) y 125 mm.mes^{-1} ($1.520 \text{ mm.año}^{-1}$).

Para el caso del cultivo de café en Colombia se ha introducido un concepto adicional conocido como los requerimientos de lluvia (Ramírez *et al.*, 2009), debido a que el aporte hídrico para el cultivo lo hacen las lluvias, parte de la lluvia se queda en las hojas como lluvia interceptada y otra se mueve superficialmente como escorrentía (Jaramillo, 2003; Ramírez y Jaramillo, 2007), lo que demuestra que los requerimientos de lluvia son mayores que los hídricos.

Por ejemplo, un cultivo de café en la cuenca del río Cauca, a 1.200 m.s.n.m., de 2 años de sembrado y en un suelo con una capacidad de almacenamiento de agua de 60 mm, necesita en el primer mes como mínimo 22 mm de lluvia, e inicia el exceso hídrico cuando la lluvia es superior a 134 mm (Figura 18a); en la misma finca, un cultivo de 5 años requiere como mínimo 42 mm, e inicia el exceso cuando la lluvia es superior a 182 mm (Figura 18b). Si la finca está en un suelo con capacidad de retención de agua de 20 mm, en el cultivo de 5 años, el requerimiento mínimo de lluvia sube a 74 mm (Figura 18c). En el mismo suelo de los dos primeros casos, en un cultivo de 5 años, pero ubicado a 1.800 m de altitud, el rango mínimo de lluvia disminuye de 42 mm a 36 mm, e inicia el exceso hídrico con menos lluvia 166 mm (Figura 18d).

El déficit hídrico y la floración. El déficit hídrico es otro factor estimulante en la floración del café, especialmente el déficit hídrico permite la concentración

Altitud (m)	Edad (años)	Densidad (plantas/ha)	Requerimientos hídricos			
			(mm/día)	(mm/mes)	(mm/año)	(L/día/planta)
1.400	0 a 1	2.500	2,1	62	755	8
1.400	0 a 1	5.500	2,5	75	916	5
1.400	0 a 1	7.500	2,7	80	979	4
1.400	0 a 1	8.500	2,8	83	1.005	3
1.400	0 a 1	10.000	2,8	85	1.038	3
1.400	1 a 3	2.500	2,7	82	996	11
1.400	1 a 3	5.500	3,2	95	1.157	6
1.400	1 a 3	7.500	3,3	100	1.220	4
1.400	1 a 3	8.500	3,4	102	1.246	4
1.400	1 a 3	10.000	3,5	105	1.279	4
1.400	> 3	2.500	3,4	102	1.237	14
1.400	> 3	5.500	3,8	115	1.398	7
1.400	> 3	7.500	4,0	120	1.461	5
1.400	> 3	8.500	4,1	122	1.487	5
1.400	> 3	10.000	4,2	125	1.520	4

Tabla 11.

Requerimientos hídricos calculados para el cultivo de café en Colombia para un rango altitudinal, en función de la densidad de siembra y la edad.

de los botones florales latentes, que entran en antesis o floración aproximadamente entre 7 y 10 días después de una lluvia superior a 10 mm.

Se ha observado que cuando en un trimestre (Noviembre-enero, febrero-abril, mayo-julio, agosto-octubre), iniciando 20 días antes, se presentan menos de 65 días con déficit hídrico moderado la floración es baja, pero si el número de días con déficit hídrico moderado es superior a 65 días por trimestre, la floración se incrementa (Ramírez et al., 2010a; Ramírez et al., 2011). En la medida en que el déficit hídrico se hace más fuerte, representado en el número de días

Consideraciones prácticas

La magnitud del déficit hídrico influye en la magnitud de la floración en café. Si el déficit hídrico es concentrado y prolongado la floración es concentrada, y viceversa (Arcila y Jaramillo, 2003).



Federación Nacional de Cafeteros de Colombia
Centro Nacional de Investigaciones de Café
Cálculo de los rangos adecuados de lluvia para el cultivo de café en Colombia



VARIABLE	UNIDAD	VALOR
Mes (hace referencia a los meses consecutivos sin lluvia)		1
Altitud	metros	1200
Edad del cafetal	años	2
Capacidad de Almacenamiento de Agua del Suelo	mm	60
Cuenca		1
Lluvia mínima requerida por el cultivo	mm/mes	22
Lluvia máxima requerida por el cultivo	mm/mes	134

a

VARIABLE	UNIDAD	VALOR
Mes (hace referencia a los meses consecutivos sin lluvia)		1
Altitud	metros	1200
Edad del cafetal	años	5
Capacidad de Almacenamiento de Agua del Suelo	mm	60
Cuenca		1
Lluvia mínima requerida por el cultivo	mm/mes	42
Lluvia máxima requerida por el cultivo	mm/mes	182

b

VARIABLE	UNIDAD	VALOR
Mes (hace referencia a los meses consecutivos sin lluvia)		1
Altitud	metros	1200
Edad del cafetal	años	5
Capacidad de Almacenamiento de Agua del Suelo	mm	20
Cuenca		1
Lluvia mínima requerida por el cultivo	mm/mes	74
Lluvia máxima requerida por el cultivo	mm/mes	182

c

VARIABLE	UNIDAD	VALOR
Mes (hace referencia a los meses consecutivos sin lluvia)		1
Altitud	metros	1800
Edad del cafetal	años	5
Capacidad de Almacenamiento de Agua del Suelo	mm	60
Cuenca		1
Lluvia mínima requerida por el cultivo	mm/mes	36
Lluvia máxima requerida por el cultivo	mm/mes	166

d

Figura 18.

Ejemplo de aplicación de la calculadora de requerimientos hídricos en café para Colombia para cuatro casos diferentes (Ramírez et al., 2009). **a.** y **b.** Igual tipo de suelo y altitud, pero dos edades diferentes; **c.** Igual altitud, pero suelo diferente; **d.** Igual edad pero diferente altitud.

Si el déficit hídrico es moderado o escaso la apertura floral es escasa y dispersa, si el déficit hídrico es prolongado la apertura floral es concentrada. En este mismo sentido influyen los cambios diarios de temperatura como la amplitud térmica.

con $IDH < 0,5$, el número de botones florales aumenta, lo que significa que se requiere como mínimo 30 días de déficit hídrico fuerte por trimestre para una apropiada floración, más de 2.000 botones florales/trimestre.

Exceso hídrico producción. El impacto directo del exceso hídrico sobre el cultivo de café se relaciona directamente con la disminución en las tasas de evapotranspiración por efecto del exceso de agua en el suelo y su impacto en el cierre estomático ejerciendo un efecto similar al del déficit hídrico (Gómez, 2001). Al disminuir la ET_c , se disminuye el intercambio gaseoso y, por lo tanto, la asimilación neta y la acumulación de biomasa, mientras que por el otro lado se reduce el flujo de masas que es uno de los mecanismos que permite la toma de nutrientes de la solución del suelo por parte de las raíces. Aún no se ha hecho una medida directa del impacto del exceso hídrico sobre la producción, solo se cuenta con la estimación a partir de modelos.

Por ejemplo, cuando se analizó la relación entre la época de siembra y la producción influenciada por la acumulación de brillo solar en un ciclo productivo, se afirmó que la siembra realizada en el año 2005 en Chinchiná, al finalizar el ciclo en 2010, tuvo una reducción del 12,5% respecto a las siembras del 2000 y 2001, en tanto que al incluir en el modelo la reducción en evapotranspiración por déficit y exceso hídrico (ETc-ajustada), se incrementó la reducción en producción en 2% más (Figura 19).

Exceso hídrico y fenología. Para tener una primera aproximación de la cuantificación del efecto del exceso hídrico sobre la producción, se desarrolló un índice denominado índice de humedad el suelo -IHS (Ramírez et al., 2010b), que al igual que el IDH integra el comportamiento del agua en el suelo, edad y densidad del cultivo y demanda evapotranspirativa. El exceso hídrico se relaciona inversamente con el número de botones florales en café (Ramírez et al., 2011). Lo que significa que si se presentan más de 20 días por trimestre (Noviembre-enero, febrero-abril, mayo-julio, agosto-octubre), iniciando 20 días antes, con valores de $IHS > 0,5$, se reduce fuertemente el número de botones florales en café, en zonas en donde la acumulación térmica es baja (Temperatura media menor a $20^{\circ}C$), si la acumulación térmica y el brillo solar no son limitantes, se requiere mayor exceso hídrico para reducir la floración.

Disponibilidad hídrica y épocas de siembra. Hasta este punto se ha mencionado que para lograr el mejor aprovechamiento de la energía potencialmente disponible es más recomendable la siembra en el primer semestre del año y que dichas siembras son mucho

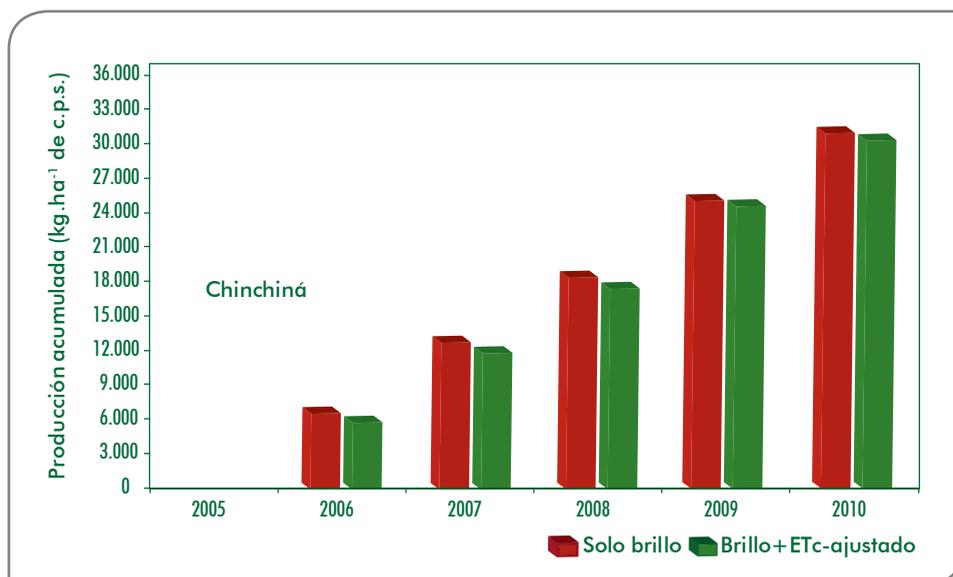


Figura 19.

Efecto del exceso y el déficit hídrico sobre la reducción de la producción potencial estimada en función del brillo solar.



El exceso hídrico es más limitante en zonas marginales altas, debido a que la acumulación térmica es menor, y los cambios diarios de temperatura (Amplitud Térmica) igualmente son menores, siendo en conjunto muy limitantes para la floración, y por ende, para la producción y productividad.

más significativas desde el punto de vista energético en las zonas cafeteras del centro y el norte del país, pero al mirar el patrón de distribución de las lluvias históricamente, se observa que en todos los casos no son más recomendables las siembras en el primer semestre, especialmente en las zonas centro sur y sur del país, donde el período de déficit hídrico de mitad de año es más prolongado que el déficit de principios de año (Tabla 12), por lo tanto, las épocas de siembra se deben ajustar a la disponibilidad hídrica de cada región, y en la zona sur deben estar más enfocadas en el segundo semestre.

Integrando conceptos

La floración del café es un proceso fenológico muy importante para la producción de café. La floración del café ocurre fundamentalmente en las yemas que se ubican en los nudos de las ramas primarias y secundarias (Figura 20a), pero ocasionalmente hay floración en yemas axilares (Arcila, 2007) (Figura 20b). Desde el punto de vista agroclimático, para que se formen las ramas y los nudos en las ramas es necesaria la acumulación de energía (Radiación + temperatura) y que

exista disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo. Una vez se han formado los nudos, se inicia un proceso de duración variable, el cual llamamos floración, dicho proceso de acuerdo con Wormer y Guituanja (1970) y Camayo y Arcila (1996) comprende las siguientes etapas: Diferenciación, dormancia, preantesis y antesis.

Para que un nudo indiferenciado pase a diferenciado se requieren de **factores climáticos estimulantes**, como la **reducción en el fotoperíodo** mayor a 30 minutos, lo cual ocurre en Colombia en zonas ubicadas por encima de los 4°31' de latitud Norte, y **diferencias entre la temperatura máxima y mínima, a nivel diario, mayores a 10°C**; estos dos estímulos influyen en el balance hormonal del cultivo, generando la señal para la diferenciación. En el centro-sur del país, donde no se presenta el estímulo por fotoperíodo, los cambios de temperatura diarios son muy importantes en la diferenciación floral.

Una vez las yemas se han diferenciado viene un proceso de crecimiento de las mismas, para lo cual se requiere de **factores climáticos de acumulación** como la **acumulación de energía y agua**, cuando se ha cumplido la acumulación de las yemas florales se inicia la dormancia o latencia, el cual es un proceso natural, desde el punto de vista productivo; la dormancia tiene una ventaja y es que permite la acumulación de botones florales y, por lo tanto, la concentración de la cosecha.

El déficit hídrico es el que mantiene la dormancia o latencia y es por esta razón que cuando se tienen muchos días secos, prolongados o consecutivos, se tienen menos eventos de floración, pero sí una floración más concentrada y mayor cantidad de botones florales, lo que comúnmente se conoce como floraciones concentradas.

Para interrumpir la dormancia o latencia y permitir el paso a la siguiente etapa, que es la pre-antesis, se requiere nuevamente de los **factores climáticos estimulantes**



Consideraciones prácticas

El proceso productivo de la planta de café, incluida la floración, es un proceso que depende de dos tipos de factores climáticos: Los estimulantes y los acumuladores; un cambio en cualquiera de estos dos, genera cambios en los patrones de distribución de la floración y en la cantidad. Es importante recordar que es un proceso que no se da de un día para otro, sino que dura hasta 4 meses, dependiendo de la ocurrencia y magnitud de todos los procesos anteriores para el caso de la floración, y hasta 18 meses para el caso de la producción.

Tabla 12.

Meses recomendados para la siembra (S) y fechas probables de floración (F) y de cosecha (C).

Departamento/Municipio/Estación		Latitud ° / ' ° / '	Longitud ° / ' ° / '	Altitud (m)	Meses		Lluvia (mm) Probabilidad 0,75											
					Siembra a floración	Siembra a cosecha	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Cesar																		
Pueblo Bello	Pueblo Bello	10 25	73 34	1.134	9	17					F-S						C	
El Helechal	Pueblo Bello	10 26	73 34	1.447	11	20					F-S						C	
Magdalena																		
La Victoria	Santa Marta	11 8	74 6	1.100	9	16	C				F-S							
Norte de Santander																		
Gabriel María Barriga	Convención	8 25	73 20	1.261	10	18					F-S						C C	
Francisco Romero	Salazar	7 44	72 47	903	9	15					F-S						C	
Blonay	Chinácota	7 34	72 37	1.250	10	18					F-S						C	
Santander																		
El Silencio	Rionegro	7 24	73 13	1.120	9	17					F-S						C	
Los Cocos	Rionegro	7 14	73 7	1.300	10	18					F-S						C	
Palestina	Rionegro	7 19	73 7	1.350	11	19					F-S						C	
Cocal	Rionegro	7 16	73 9	700	8	14					F-S						C	
Ceylan	Bucaramanga	7 11	73 7	1.304	10	18					F-C						C	
Miporal	Floridablanca	7 6	73 5	1.237	10	18	C					F-S						
San Antonio	Floridablanca	7 6	73 4	1.539	12	21	C					F-S						
Bonanza	Girón	7 5	73 17	1.250	10	18					F-S						C	
El Roble	Los Santos	6 52	73 3	1.646	13	22					F-S						C	
Cuchicute	Curití	6 34	73 4	1.600	12	22					F-S						C	
Santa Rita	San Gil	6 35	73 8	1.600	12	22					F-S						C	
Chapa (El Nogal)	Charalá	6 20	73 4	1.560	12	21					S-F						C	
Villanueva	Charalá	6 14	73 10	1.450	11	20					F-S						C	
Chochos	Hato	6 33	73 19	1.400	11	20					F-S						C	
Alberto Santos	Socorro	6 30	73 13	1.499	11	20					F-S						C	
La Chapola	Socorro	6 27	73 12	1.731	13	24					F-S						C	
La Plazuela	Socorro	6 27	73 14	1.672	13	23					F-S						C	
Las Delicias	Palmas del Socorro	6 24	73 16	1.450	11	20					F-S						C	
El Mesón	Valle de San José	6 25	73 9	1.330	10	18					F-S						C	
La Laguna	Páramo	6 30	73 9	1.550	12	21					F-S						C	
Las Flores	Pinchote	6 29	73 11	1.700	13	23					F-S						C	
La Cumbre	Puente Nacional	5 52	73 41	1.691	13	23					F-S						C	
Aguasblancas	San Vicente	6 50	73 29	964	9	15					F-S						C	
Casa de Teja	San Vicente	6 55	73 27	960	9	15					F-S	S					C	
Boyacá																		
Bertha	Moniquirá	5 53	73 34	1.677	12	21					F-S						C	
Cundinamarca																		
El Jardín (Clavel)	Yacopí	5 27	74 19	1.245	9	16					F-S	S					C	
Montelíbano	Yacopí	5 27	74 20	1.365	10	17					F-S	S					C	
Santa Rosita	El Peñón	5 16	74 17	1.437	10	18					F-S	S					C	
Canaima	La Palma	5 21	74 25	1.594	11	20					F-S	S					C	
La Vistosa	Topaipí	5 20	74 16	1.374	10	17					F-S						C	
Ceranza	Vergara	5 9	74 16	1.450	10	18											F-S S	
La Florida	Vergara	5 5	74 18	1.400	10	18											S-F S	

■ Mes seco ■ Mes húmedo ■ Mes muy húmedo

Continúa...

...continuación

Departamento/Municipio/Estación		Latitud				Altitud (m)	Meses		Lluvia (mm) Probabilidad 0,75											
		o	'	o	'		Siembra a floración	Siembra a cosecha	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Icalí	Sasaima	4	57	74	25	1.328	10	17						C				F-S	S	
Santa Bárbara	Sasaima	4	56	74	25	1.478	10	18						C				F-S	S	
San Luis	Arbeláez	4	14	74	26	1.700	11	19						C				F-S		
Mesitas de Santa Inés	Cachipay	4	43	74	27	1.340	12	21						C				F-S		
Honduras	La Mesa	4	41	74	27	1.077	10	17						C				F-S		
Misiones	Mesitas del Colegio	4	33	74	26	1.540	8	15			F			C				F-S	C	
Pinar del Río	Silvana	4	26	74	23	1.752	11	19			F			C				F-S	C	
Granja Tibacuy	Tibacuy	4	22	74	26	1.538	12	22			F			C				F-S	C	
Tolima																				
Tricontinental	Fresno	5	9	75	0	1.269	11	19						C				F-S		
La Danta	Casabianca	5	6	75	6	1.610	9	16				C				S-F	S			
Buenos Aires	Palocabildo	5	8	75	1	1.410	11	20					C			S-F	S			
El Edén	Libano	4	58	75	0	1.373	10	18				C				S-F	S			
La Trinidad	Libano	4	54	75	2	1.456	10	17				C				S-F	S			
Planes	Lérida	4	50	75	0	1.223	10	18			F-S		C				F-S		C	
Totalito	Alvarado	4	40	75	1	1.250	9	16			F-S		C				F-S		C	
Janiyof	Anzoátegui	4	38	75	4	1.720	9	16			F-S		C				F-S		C	
Chapetón	Ibagué	4	28	75	16	1.353	12	22			F-S		C				F-S		C	
El Recreo	Ortega	4	3	75	18	1.504	10	17			F-S		C				F-S		C	
El Horizonte	Cunday	4	4	74	36	1.270	11	19			F-S		C				F-S		C	
La Montaña	Dolores	3	33	74	54	1.219	9	16			F-S		C				F-S		C	
Huila																				
Guayabal	Algeciras	2	32	75	17	1.460	9	16			F			C				F-S	C	
Jorge Villamil	Gigante	2	20	75	31	1.420	10	18					C					F-S		
La Primavera	Gigante	2	15	75	31	1.386	10	18					C					F-S		
Montenegro	Gigante	2	17	75	29	2.099	10	18					C					F-S		
Villa Consuelo	Garzón	2	11	75	34	1.570	11	20					C					F-S		
Conc. Desarrollo	Timaná	1	57	75	56	1.141							C					F-S		
Corrales	Teruel	2	45	75	37	1.450	10	18					C					F-S		
Antioquia																				
Carimagua	Amagá	6	1	75	41	1.802	13	23			F-S								C	
El Trapiche	Bolívar	5	48	76	1	1.277	9	17			F-S								C	
Bariloche	Fredonia	5	55	75	42	1.748	12	22			F-S								C	
El Olvido	Fredonia	5	50	75	40	971	8	14			F-S								C	
La Blanquita	Fredonia	5	49	75	41	570	10	18			F-S								C	
Santa Cruz	Fredonia	5	54	75	38	1.400	15	26			F-S								C	
Santa Isabel	Fredonia	5	53	75	41	1.963	11	20			F-S								C	
Miguel Valencia	Jardín	5	36	75	51	1.621	14	25			F-S								S	
El Porvenir	Jericó	5	48	75	46	1.906	12	21			F-S								C	
La Cristalina	Támesis	5	42	75	40	775	12	20			F-S								C	
Virgen De Oro	Támesis	5	45	75	42	1.656	10	17			F-S								C	
El Rosario	Venecia	5	58	75	42	1.635	14	25				F-S	C				F-S			C
Cocorná	Cocorná	6	4	75	11	1.344	11	20				F-S	C				F-S			C
Caldas																				
Cuatro Esquinas	Aguadas	5	40	75	25	1.900	12	21			F-S		C				F-S		C	
Guaymaral	Aguadas	5	39	75	27	1.600	11	20			F-S		C				F-S		C	
San José	Aguadas	5	34	75	28	1.663	12	22			F-S		C				F-S		C	

Continúa...

...continuación

Departamento/Municipio/Estación		Latitud		Longitud		Altitud (m)	Meses		Lluvia (mm) Probabilidad 0,75												
		°	'	°	'		Siembra a floración	Siembra a cosecha	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
La Cascada	Pácora	5	28	75	33	1.600	13	22			F-S		C					F-S		C	
La Linda	Pácora	5	33	75	32	1.750	13	24			F-S	C					F-S			C	
La Gaviota	Salamina	5	22	75	29	1.772	12	21			F-S		C					F-S			C
El Socorro	La Merced	5	23	75	33	1.852	12	21			F-S		C					F-S			C
El Mirador	Filadelfia	5	14	75	34	1.650	11	20			F-S		C					F-S			C
La Julia	Filadelfia	5	18	75	34	1.650	11	20			F-S		C					F-S			C
Piamonte	Neira	5	11	75	31	1.625	13	22			F-S		C					F-S			C
Agronomía	Manizales	5	3	75	30	2.088	13	23			F-S		C					F-S			C
El Pistacho	Manizales	5	4	75	33	1.582	10	17			F-S		C					F-S			C
Java	Manizales	5	1	75	32	1.778	10	18			F-S		C					F-S			C
La Juliana	Manizales	5	8	75	29	1.785	12	21			F-S		C					F-S			C
La Selva	Manizales	5	5	75	36	1.312	9	16			F-S		C					F-S			C
Las Colinas	Manizales	5	6	75	34	1.450	12	21			F-S		C					F-S			C
Santa Teresa	Manizales	5	7	75	32	1.698	12	21			F-S		C					F-S			C
Santa Teresita	Manizales	5	4	75	37	1.172	10	17			F-S		C					F-S			C
Bello Horizonte	Villamaría	4	59	75	33	1.690	11	20			F-S		C					F-S			C
Cenicafé	Chinchiná	5	0	75	36	1.310	9	16			F-S		C					F-S			C
La Divisa	Chinchiná	4	59	75	36	1.590	10	17			F-S		C					F-S			C
La Francia	Chinchiná	4	59	75	41	1.267	10	18			F-S		C					F-S			C
La Romelia	Chinchiná	4	58	75	40	1.335	9	16			F-S		C					F-S			C
La Sierra	Chinchiná	4	59	75	38	1.440	10	17			F-S		C					F-S			C
Moravo	Chinchiná	5	1	75	43	1.146	10	18			F-S		C					F-S			C
Naranjal	Chinchiná	4	58	75	39	1.381	8	15			F-S		C					F-S			C
El Recreo	Palestina	5	2	75	39	1.430	10	17			F-S		C					F-S			C
Granja Luker	Palestina	5	4	75	41	1.031	10	18			F-S		C					F-S			C
La Argentina	Palestina	5	2	75	41	1.354	9	16			F-S		C					F-S			C
La Margarita	Palestina	5	2	75	37	1.436	8	15			F-S		C					F-S			C
La Palma	Palestina	5	1	75	41	1.165	13	23			F-S		C					F-S			C
Santágueda	Palestina	5	4	75	40	1.026	10	18			F-S		C					F-S			C
El Descanso	Marmato	5	30	75	37	1.803	10	18			F-S		C					F-S			C
Rafael Escobar	Supía	5	27	75	38	1.307	10	18			F-S		C					F-S			C
La Argentina	Riosucio	5	28	75	42	1.420	12	21			F-S		C					F-S			C
La Manuelita	Riosucio	5	22	75	41	1.460	10	18			F-S		C					F-S			C
El Tabuyo	Anserma	5	15	75	47	1.669	9	15			F-S		C					F-S			C
Santa Fe	Anserma	5	11	75	47	1.410	12	21			F-S		C					F-S			C
San Lucas	Risaralda	5	7	75	45	1.105	10	17			F-S		C					F-S			C
La Divisa	San José	5	7	75	48	1.686	10	18			F-S		C					F-S			C
La Esmeralda	Viterbo	5	5	75	54	1.365	13	23			F-S		C					F-S			C
El Tiburio	Samaná	5	33	75	1	1.403	11	19			F-S		C					F-S			C
Granja Kennedy	Pensilvania	5	20	75	6	1.800	12	21			F-S		C					F-S			C
Hogar Juvenil	Pensilvania	5	30	75	11	1.560	10	18			F-S		C					F-S			C
Villaraz	Pensilvania	5	23	75	4	1.650	10	18			F-S		C					F-S			C
La Esperanza	Marquetalia	5	18	75	5	1.463	10	18			F-S		C					F-S			C
Santa Helena	Marquetalia	5	19	75	0	1.395	8	15			F-S		C					F-S			C
Llanadas	Manzanares	5	12	75	8	1.390	9	15			F-S		C					F-S			C
Cuba	Victoria	5	20	74	56	1.054	10	18			S-F		C					S-F			C
La Pastorita	Victoria	5	19	74	58	1.122	12	20			S-F		C					S-F			C
Risaralda																					
La Palmera	Marsella	5	0	75	45	1.450	10	18			S-F		C					S-F			C
El Jazmín	Santa Rosa de Cabal	4	55	75	37	1.635	9	16			S-F		C					S-F			C
El Bosque	Dosquebradas	4	51	75	41	1.458	9	15			S-F		C					S-F			C

Continúa...

...continuación

Departamento/Municipio/Estación		Latitud		Longitud		Altitud (m)	Meses		Lluvia (mm) Probabilidad 0,75											
		°	'	°	'		Siembra a floración	Siembra a cosecha	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Combia	Pereira	4	51	75	47	1.173	10	17			S-F	C					S-F		C	
El Pílamó	Pereira	4	52	75	48	1.113	9	17			S-F	C					S-F		C	
La Catalina	Pereira	4	45	75	44	1.321	9	16			S-F	C					S-F		C	
La Playa	Pereira	4	49	75	45	1.290	9	16			S-F	C					S-F		C	
La Renta	Pereira	4	47	75	47	1.194	11	19			S-F	C					S-F		C	
Los Cábmulos	Pereira	4	49	75	50	1.189	11	19			S-F	C					S-F		C	
Planta de Tratamiento	Pereira	4	48	75	40	1.487	12	22			S-F	C					S-F		C	
El Diamante	Quinchía	5	19	75	42	1.550	13	23			S-F	C					S-F		C	
La Oriental	Quinchía	5	22	75	43	1.730	12	21				S-F	C				S-F			C
Buenos Aires	Guática	5	19	75	48	1.814	11	20				S-F	C				S-F			C
Ospirma	Guática	5	20	75	49	1.661	10	18			F-S	S	C				F	F-S	C	
El Barranco	Mistrató	5	20	75	53	1.580	11	20			F-S		C				F-S			C
Los Cábmulos	Belén de Umbría	5	9	75	53	1.400	12	21			F-S		C				F-S			C
Los Naranjos	Santuario	5	3	76	0	1.580	10	18			F-S		C				F-S			C
Quindío																				
La Esperanza	Filandia	4	38	75	41	1.671	10	17			F-S		C				F-S			C
La Ilusión	Circasia	4	35	75	43	1.442	10	18			F-S		C				F-S			C
Almacafé Vivero	Quimbaya	4	37	75	46	1.330	9	17			F-S		C				F-S			C
Maracay	Quimbaya	4	36	75	44	1.402	9	16			F-S		C				F-S			C
El Agrado	Montenegro	4	31	75	48	1.275	9	16			F-S		C				F-S			C
La Julia	Montenegro	4	33	75	45	1.250	10	17			F-S		C				F-S			C
Sorrento	Montenegro	4	33	75	49	1.203	9	16			F-S		C				F-S			C
La Pradera	Armenia	4	28	75	43	1.350	10	17			F-S		C				F-S			C
Tucumán	Armenia	4	32	75	44	1.250	10	18			F-S		C				F-S			C
El Jardín	Calarcá	4	28	75	42	1.365	11	19			F-S		C				F-S			C
La Bella	Calarcá	4	30	75	40	1.449	9	16			F-S		C				F-S			C
Quebradanegra	Calarcá	4	27	75	40	1.500	9	16			F-S		C				F-S			C
La Argentina	La Tebaida	4	27	75	47	1.200	10	17			F-S		C				F-S			C
La Miranda	La Tebaida	4	26	75	51	1.193	10	18			F-S		C				F-S			C
Mónaco	Córdoba	4	25	75	42	1.350	9	16			F-S		C				F-S			C
La Esperanza	Buenavista	4	22	75	45	1.428	10	18			F-S		C				F-S			C
Paraguaicito	Buenavista	4	24	75	44	1.203	11	20			F-S		C				F-S			C
El Porvenir	Pijao	4	19	75	47	1.470	12	21			F-S		C				F-S			C
La Alejandría	Génova	4	11	75	47	1.600	9	16			F-S		C				F-S			C
La Esperanza	Génova	4	13	75	48	1.650	10	18			F-S		C				F-S			C
Valle																				
Arturo Gómez	Alcalá	4	40	75	47	1.259	9	16			F-S		C				F-S			C
El Recreo	Ulloa	4	42	75	44	1.421	9	16			F-S		C					F-S		C
El Berrión	Cartago	4	40	75	50	1.166	11	20			F-S		C				F-S			C
Venecia	Caicedonia	4	20	75	50	1.168	13	23			F-S		C				F-S			C
La Sirena	Sevilla	4	17	75	54	1.519	13	22			F-S		C				F-S			C
La Selva	Ginebra	3	45	76	12	1.805	11	19				F-S		C				F-S		C
Santa Marta	El Águila	4	53	76	3	1.764	12	22			F-S			C				F-S		C
Bellavista	Ansermanuevo	4	45	76	6	1.528	11	19				F-S		C				F-S		C
El Placer	Ansermanuevo	4	47	76	4	1.744	11	19				F-S		C				F-S		C
Santiago Gutiérrez	Argelia	4	44	76	7	1.530	10	17				F-S		C				F-S		C
Albán	El Cairo	4	47	76	11	1.510	10	17				F		C				F-S		C
Manuel M. Mallarino	Trujillo	4	13	76	19	1.331	11	20						C				F-S		C
Julio Fernández	Restrepo	3	49	76	32	1.381	10	17						C				F-S		C

Continúa...

Los factores de acumulación y los de estímulo se han integrado en un índice denominado índice hidroheliotérmico (I.Hi.He.T) (Ramírez et al., 2010), el cual integra el número de días con déficit hídrico (IDH), la acumulación de temperatura (TT), los cambios diarios de temperatura (AT) y la diferencia entre el brillo solar astronómico posible y el medido en la estación (N-n) (Ecuación 2).

El índice permite comparar cómo han sido las condiciones agrometeorológicas entre períodos de floración para una misma localidad. Por ejemplo, en la Figura 21 se muestra el comportamiento del índice para la zona de influencia de la Estación Experimental Paraguacito, en los períodos de floración de mayo a julio y agosto a octubre, que determinan la cosecha del primer semestre, se puede observar cómo las condiciones de acumulación y de estímulo fueron mucho mejores en el período de mayo a

octubre de 2012, que determinaron la cosecha del primer semestre del año 2013, comparadas con las condiciones agrometeorológicas del mismo período mayo a octubre del 2011, que determinaron la cosecha del primer semestre del 2012, lo que se vio reflejado en el número de botones florales registrados (Figuras 21 y 22).

De esta manera, se puede concluir que la variación de los elementos climáticos, como radiación, temperatura, brillo solar, cambios diarios de temperatura, humedad atmosférica, disponibilidad hídrica, entre otros, influye de manera directa en la producción y la productividad del cultivo de café. Conocer esta influencia permite la aplicación adecuada y oportuna de estrategias de manejo del cultivo, que optimice estos factores y reduzca la vulnerabilidad de los sistemas productivos a ellos, y aumentar la capacidad de adaptación del cultivo a condiciones variables de clima.

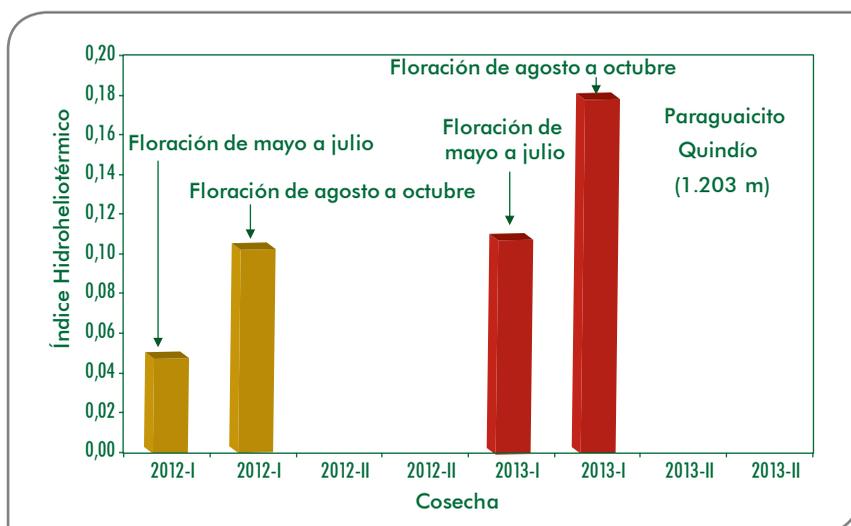


Figura 21.

Comparativo del comportamiento del índice hidro-helio-térmico en una localidad para dos años climáticamente contrastantes.

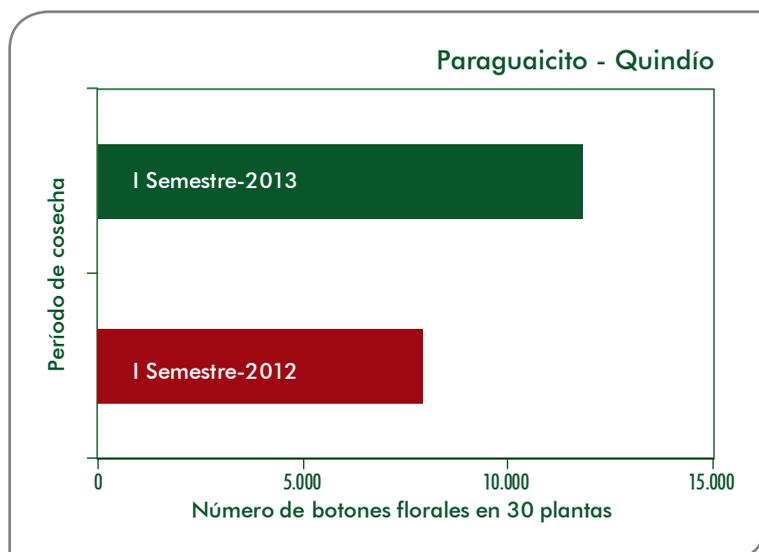


Figura 22.

Floración acumulada para la cosecha de primer semestre para los períodos mayo-octubre de 2011, correspondiente a la cosecha de 2012, con valores de baja acumulación y estimulación a la floración, y el mismo período de 2012 correspondiente a la cosecha de 2013, con valores de mejor acumulación y estimulación a la floración.

Recomendaciones prácticas

- La época de siembra del cultivo de café debe coincidir con la época del año de mayor disponibilidad de energía (Brillo solar) y mayor disponibilidad hídrica.
- Las épocas de siembra del café no deben coincidir con el inicio de las épocas secas, que en las zonas central y centro sur ocurren en enero y junio, en la zona sur en junio y en la zona norte en diciembre.
- En las zonas centro y centro norte se debe aprovechar el estímulo que da el fotoperíodo y se deben hacer las siembras a principio de año, dependiendo de la disponibilidad hídrica de la región.
- Como la temperatura media del aire determina la velocidad de crecimiento del cultivo, en las zonas con altitudes superiores a 1.500 m se debe compensar la reducción en la velocidad de crecimiento con mayor densidad de siembra (Plantas por hectárea).
- En zonas bajas para la zona cafetera central (<1.200 m de altitud) las siembras de café y los sistemas de producción deben establecerse en sistemas agroforestales, para reducir el efecto de las altas temperaturas sobre el cultivo del café.
- En zonas de alta precipitación y suelos vulnerables a la erosión deben emplearse barreras de árboles como estrategia de conservación de suelos.
- En zonas donde los períodos secos de principio y mitad de año sean mayores a 2 meses deben incluirse árboles en el sistema de producción de café. En aquellas zonas donde el período seco sea inferior a 2 meses deben implementarse estrategias que permitan reducir el efecto del déficit hídrico sobre el llenado de los frutos, tales como el uso de coberturas muertas en los platos de los árboles, fertilización adecuada en las épocas recomendadas, eliminación de arvenses de interferencia alta y media para el cultivo, entre otras (Ver capítulo Gestión del riesgo agroclimático - Vulnerabilidad y capacidad de adaptación del sistema de producción de café).

Literatura citada

- ARCILA, P.J. Crecimiento y desarrollo de la planta de café. En: *Sistemas de producción de café en Colombia*. Chinchiná. Cenicafé: 21-60.2007.
- ARCILA, P. J.; JARAMILLO, R. A. Relación entre la humedad del suelo, la floración y el desarrollo del fruto del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafé*. N° 311. 8p. 2003.
- CASTILLO, Z.J.; LÓPEZ, A.R. Nota sobre el efecto de la intensidad de luz en la floración del cafeto. *Cenicafé*. 17(2):51-60. 1966.
- CAMAYO, G.; ARCILA, P.J. Estudio anatómico y morfológico de la diferenciación y desarrollo de las flores del cafeto *Coffea arabica* L. variedad Colombia. *Cenicafé* 47(3): 121-139.1996.
- CHAVES, C.B.: JARAMILLO, R.A. Regionalización de la temperatura del aire en Colombia. *Cenicafé*. 49(3):224-230.
- FARFÁN, V.F., JARAMILLO, R.S. Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región. *Avances Técnicos Cenicafé*. No.379.8p.2009.
- FARFÁN, V.F.; MESTRE, M.A. Fertilización de cafetales con sombrío en la zona cafetera norte de Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*. No 331.8p. 2005.
- GÓMEZ, M. O. Efecto del estrés hídrico sobre la actividad fotosintética en la planta de café (*Coffea arabica* L. c.v, Colombia). Tesis de Grado de Ing. Agrónomo. Universidad de Caldas. 68p. 2000
- JARAMILLO, R.A. La lluvia y el transporte de nutrimentos dentro de ecosistemas de bosque y cafetales. *Cenicafé*. 54(2):134-144.2003
- JARAMILLO, R.A.; VALENCIA, A.G. Los elementos climáticos y el desarrollo de *Coffea arabica* L., en Chinchiná, Colombia. *Cenicafé*. 31(4):127-144.1980.
- JARAMILLO, R.A.; GUZMÁN, M.O. Relación entre la temperatura y el crecimiento en *Coffea arabica* L., variedad Caturra. *Cenicafé*. 35(3):57-65.1984
- JARAMILLO, R.A. Clima Andino y Café en Colombia. *Cenicafé*.2005.196p.
- JARAMILLO, R.A.; RAMÍREZ, B.V.H.; ARCILA, P.J. Distribución de la lluvia clave para planificar las labores en el cultivo de café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*. No 411.8p.2011
- PEÑA, Q.A.J.;RAMÍREZ, B.V.H.;JARAMILLO, R.A.;RENDÓN, S.J.R.;ARCILA, P.J. 2011. Effects of the Daylength and Soil Humidity on the Flowering of the Coffee Cop *Coffea arabica* L. in Colombia. *Rev. Fac.Nal.Agr.Medellin*. 64(1):5745-5754.
- RAMÍREZ, B.V.H.; JARAMILLO, R.A. Distribución de la lluvia en cuatro coberturas vegetales de la zona andina. *Investigaciones de Unisarc Bol*. 5(1):19-33.2007.
- RAMÍREZ, B.V.H., JARAMILLO,R.A., ARCILA, P.J. Rangos adecuados de lluvia para el cultivo de café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*. No 395. 8p.2009
- RAMÍREZ, B.V.H.; ARCILA, P.J.; JARAMILLO, R.A.; RENDÓN, S. J.S.; CUESTA, G.G.; MENZA, F. H.D.; MEJÍA, M.C.G.; MONTOYA, D.F.; MEJÍA, M.J.W.; TORRES, N.J.C.; SÁNCHEZ, A.P.M.; BAUTE, B.J.E.; PEÑA, Q.A. Floración del café en Colombia y su relación con la disponibilidad hídrica, térmica y de brillo solar. *Cenicafé* 61 (2):132-158.2010a.
- RAMÍREZ, B.V.H.; JARAMILLO, R.A.; ARCILA, P.J. Índices para evaluar el estado hídrico en los cafetales. *Cenicafé*. 61(1):55-66.2010b.
- RAMÍREZ, B.V.H.; ARCILA, P.J.; JARAMILLO, R.A.; RENDÓN, S. J.S.; CUESTA, G.G.; MENZA, F. H.D.; MEJÍA, M.C.G.; MONTOYA, D.F.; MEJÍA, M.J.W.; TORRES, N.J.C.; SÁNCHEZ, A.P.M.; BAUTE, B.J.E.; PEÑA, Q.A. Variabilidad climática y la floración del café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*. No 407.8p. 2011
- RAMÍREZ, B.V.H.; JARAMILLO, R.A.; PEÑA, Q.A.J.; VALENCIA, A. J.A. El brillo solar en la zona cafetera Colombiana durante los eventos El Niño y La Niña e impactos potenciales en el cultivo del café. *Avances Técnicos Cenicafé* No 421.12p. 2012a.
- RAMÍREZ, B. V. H.; JARAMILLO, R. A. Relación entre índices de El Niño/La Niña (ENSO) y el brillo solar en la zona cafetera de Colombiana. *Cenicafé*. (en edición). 15p. 2012b
- WORMER, T.M.; GITUANJA, J.1970. Floral initiation and flowering of *coffea arabica* in Kenya. *Experimental Agriculture*. 6:1957-1970.

Suelos de la zona cafetera

Hernán González Osorio; Luz Adriana Lince Salazar

El suelo constituye un recurso natural compuesto por minerales, órganos de plantas y animales en diferentes estados de alteración, agua, oxígeno y otros gases. Se forma a partir de las rocas o de materiales sueltos, que de manera progresiva se alteran por la acción del clima, el relieve y los seres vivos, entre los que se encuentran los seres humanos. **Por ser un recurso en el cual la vida forma parte esencial de su creación y evolución, es susceptible a extinguirse o perecer, a pesar de que dicho fenómeno no sea percibido en el corto plazo.**

Una forma de estudiar los suelos y de aproximarse a su aprovechamiento racional, es por medio de la identificación de sus horizontes, que son franjas más o menos paralelas a la superficie del terreno y, que en conjunto, constituyen lo que se conoce como **perfil del suelo**.

Colombia cuenta con una gran diversidad de climas, paisajes, rocas, minerales, fauna y flora. La zona cafetera del país no es ajena a dicha riqueza y con la combinación de estos recursos ha desarrollado una amplia gama de suelos, en los cuales han quedado grabados más de 200 años de cultura cafetera. La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia consciente de esta gran riqueza y biodiversidad, emprendió estudios para su mejor entendimiento y junto con los análisis de clima y relieve definió regiones en las cuales las plantaciones de café tienen un comportamiento similar en manejo, crecimiento y producción, este estudio se conoce como **“Ecotopos Cafeteros de Colombia”**.

Los Ecotopos Cafeteros contemplan también la delimitación e identificación de suelos con un perfil semejante y se asocian en lo que se conoce como **unidades cartográficas de suelos**. Dicha labor ha servido de herramienta para la toma de decisiones, en lo que tiene que ver con el uso, manejo, aprovechamiento y conservación de este importante recurso natural.



Formación del suelo

La superficie del terreno está cubierta por los fragmentos de diferente tamaño generados a partir de la transformación de las rocas. Dichos materiales pueden constituir lo que para muchos es el **suelo** (Del latín *solum* que significa piso) propiamente dicho, sin embargo, para aquellos que concentran sus actividades en la producción de alimentos y materias primas, así como en la búsqueda de opciones para la conservación y el aprovechamiento racional de los recursos naturales, **el suelo es considerado un cuerpo natural, que nace y evoluciona por la participación de factores formadores como el relieve, material litológico, el clima, los organismos y su actuar, a través del tiempo.**

A partir del material de partida, en términos generales, ocurren los siguientes fenómenos durante su formación:

- Fragmentación de la roca consolidada o de otros sólidos de diversa forma y tamaño, por la acción de procesos físicos, químicos y biológicos.
- Una posterior colonización de organismos, que continúan con la desintegración del material original por efecto de sus funciones metabólicas y de crecimiento (Sylvia *et al.*, 1999; Phillip *et al.*, 2008). Este recurso biológico estimula también el desarrollo de la materia orgánica y del humus con propiedades bien definidas, las cuales al unirse con los minerales alterados, dan lugar a un sistema dotado con propiedades físicas, químicas y biológicas bien definidas (Duchaufour, 1978).

Resultado de lo anterior y de otras transformaciones objeto de estudio en este capítulo, aparecen unas franjas u horizontes más o menos paralelas a la superficie del terreno, que en conjunto, constituyen lo que se conoce como perfil del suelo.

Es así como una forma de estudiar los suelos y de aproximarse al aprovechamiento racional de los mismos, es por medio de la identificación de sus horizontes. El horizonte A es la parte más expuesta a la radiación solar, a la lluvia y a la acción de los grandes seres vivos; por debajo de éste puede haber un horizonte diferente en apariencia y en color, conocido como horizonte B, o puede estar ubicado directamente sobre fragmentos de roca o cenizas volcánicas, que constituyen el horizonte C.

En un amplio sentido, cuanto más tiempo ha estado formándose un suelo, mayor es su espesor y menos se parece al material que le dio origen, esto significa que si un suelo tiene un horizonte superficial situado directamente sobre el lecho rocoso es relativamente joven, si se compara con otro en el cual se pueden encontrar dos, tres o más horizontes; sin embargo, en términos de lo que puede significar la expectativa de vida de los seres humanos,

la velocidad de formación de los suelos es muy lenta, es así como una persona con cien años de edad puede ser considerada como una anciana, mientras que un suelo en este mismo período ha desarrollado algunos centímetros de profundidad. Claro está, este proceso puede ser más o menos acelerado según del tipo y dureza de las rocas, de la cantidad y la intensidad de las lluvias, de la temperatura, de la pendiente del terreno, de la presencia y diversidad de la vegetación, de los microorganismos y la intervención del ser humano.

Factores que inciden en la formación del suelo

Los factores de formación del suelo son el conjunto de agentes que han influido, que actúan o pueden contribuir con la transformación del material parental. El suelo es por lo tanto, el resultado de la acción conjunta, a través del tiempo y sin exclusión del material parental, del clima, el relieve y los organismos.

Material parental

Se denomina así a los materiales a partir de los cuales se origina el suelo. El relieve y la superficie del terreno en una región se modifican a lo largo del tiempo por cuenta de la actividad volcánica, la salida del cauce de las corrientes de agua y el traslado de materiales de un lugar a otro, en respuesta a la dinámica de los procesos naturales que incluyen las actividades humanas. Todo esto propicia la elevación, el desgaste y la exposición de rocas y minerales, que constituyen el material parental de diferentes tipos de suelos.

A continuación se presenta una breve descripción acerca de la formación, composición de las rocas y los materiales que originan los suelos de la zona cafetera colombiana:

En Colombia se presentan los tres principales grupos de rocas que son ígneas, metamórficas y sedimentarias y gran parte de sus subgrupos (Tabla 1). Las rocas ígneas (Del latín *ignis* que significa fuego), se forman a medida que se enfría y solidifica el magma (Roca fundida en la profundidad de la Tierra), se clasifican como intrusivas, como el granito, o extrusivas dentro de las que se distingue el basalto. Cuando estas rocas son sometidas a desintegración y descomposición, procesos que en conjunto son denominados meteorización, la gravedad conduce los fragmentos a sitios que son llamados depósitos sedimentarios. Con el tiempo y bajo la acción de compuestos cementantes, se generan masas de rocas compactas (Litificadas) que constituyen las rocas sedimentarias de diferente tipo: sedimentarias mecánicas como las areniscas, y las químicas, de precipitación orgánica, como las calizas o de reemplazamiento como la dolomita.

Tipo de roca		Representante
Ígnea	Intrusiva	Granito, gabro, diorita
	Extrusiva	Riolita, basalto, andesita
Metamórfica	Contacto	Cuarcita, mármol, serpentinita
	Regional	Gneiss, esquisto, pizarra
Sedimentaria	Mecánica	Conglomerado, arenisca, arcillosita, limolita
	Química	Caliza, dolomita, magnesita, halita

Tabla 1.

Ejemplares representativos en Colombia de los tres tipos de roca.

Los depósitos ígneos o sedimentarios en condiciones de alta presión o elevada temperatura, y en presencia de fluidos químicamente activos (Agua y otras soluciones), cambian en su composición y apariencia, y como resultado crean las rocas metamórficas, que en condiciones de alta temperatura se llaman metamórficas de contacto o térmico, como es el caso del mármol, y en condiciones de alta presión y temperatura se da el metamorfismo regional como por ejemplo el esquisto; éstas a su vez pueden erosionarse y acopiarse para dar lugar nuevos depósitos sedimentarios.

Todas las rocas están compuestas por minerales, que en algún momento pueden pasar a conformar parte integral de un suelo en especial, aportando condiciones específicas como la fertilidad potencial, la forma del relieve y la pendiente, entre otras.

Como es bien sabido, los minerales constituyen más del 50% del volumen de muchos suelos, por lo tanto es necesario precisar sobre su definición e importancia. Un mineral entonces, se define como un sólido inorgánico que presenta una estructura interna ordenada y una composición química definida, las rocas son masas sólidas de minerales que componen la fase sólida del planeta (Tarbuck y Lutgens, 1999).

Aunque se han descubierto más de 2.000 minerales, sólo unos cuantos de ellos conforman las rocas de la corteza terrestre (Leet y Hudson, 1995). Se dice que del total de rocas, más del 90% están compuestas por silicatos, es decir, compuestos de silicio, oxígeno y uno o más metales.

Aquellos minerales originados bajo condiciones de formación de las rocas y que por ende hacen parte de ellas, se denominan **minerales primarios**. Los principales son los **silicatos**, aunque también se presentan **óxidos**, **hidróxidos**, **carbonatos**, **sulfatos**, **sulfuros**, **nitratos** y **fosfatos**, entre otros.

Es claro que no todos los minerales citados se alteran a la misma velocidad (Tabla 2). Este fenómeno depende de las condiciones en las que fueron formados y el ambiente al que posteriormente se someten, dicho tiempo de formación se conoce como la serie de reacción de Bowen, donde los primeros minerales en formarse son los olivitos y piroxenos, y los últimos, los feldespatos potásicos, la moscovita y el cuarzo, siendo más resistente al intemperismo los últimos que los primeros, razón por lo cual es tan común encontrar cuarzo como parte de las arenas del suelo.

La respuesta diferencial a su alteración, implica que durante la transformación y evolución del suelo éstos pueden tomar tres rutas a nivel general: 1. Que su transformación *in situ* ceda el paso a la creación de un mineral secundario y pasen a formar parte integral del suelo como tal (Jaramillo, 2002); 2. Que desaparezcan temporal o definitivamente del sistema, bien sea porque las plantas o los microorganismos los adquieren para sus funciones vitales; 3. Que se acumulen en puntos diferentes del lugar donde inició su transformación y entren de nuevo al ciclo geoquímico de las rocas ya discutido.

La composición química original de la roca puede ser heredada por el suelo y, en consecuencia, lograr ser parte de la reserva de nutrientes que las plantas pueden aprovechar, aunque es sano aclarar que esta condición no se puede asumir como absoluta, pues la misma dinámica que actúa sobre este cuerpo natural puede ocasionar que los componentes lleguen demasiado tarde para ser aprovechados, o por el contrario, se pierdan en períodos muy cortos de tiempo (González, 2011).

Es preciso recordar que la roca consolidada no es estrictamente el material parental del suelo. Las sales, las turbas, los depósitos de materiales distribuidos a lo largo de los bordes de las corrientes de agua, denominados depósitos aluviales, y los materiales piroclásticos (Materiales no consolidados, arrojados por actividades volcánicas) sueltos, constituyen también la base de su formación (Figuras 1, 2 y 3).

Mineral	Grupo	Aporte químico	Velocidad de alteración*
Actinolita	Anfíboles (Silicatos)	Si, Ca, Mg, Fe	Alta
Albita	Feldespatos (Silicato)	Si, Al, Na	Media
Anortita	Feldespatos (Silicato)	Si, Al, Ca	Media
Apatito	Apatito (Fosfatos)	Ca, F, Cl	Muy alta
Augita	Piroxenos (Silicatos)	Si, Ca, Mg, Fe, Al	Muy alta
Biotita	Micas (Silicatos)	Al, K, Mg, Fe	Media
Calcita	Calcita (Carbonatos)	Ca, CO ₃	Muy alta
Cuarzo	Silicato (Silicatos)	Si	Muy baja
Dolomita	Calcita (Carbonatos)	Ca, Mg, CO ₃	Muy alta
Hematita	Hematites (Óxidos)	Fe	Media
Moscovita	Micas (Silicatos)	K, Al, Si	Baja
Serpentina	Silicato (Mineral de alteración)	Mg, Si	Media
Talco	Silicato (Mineral de arcilla)	Mg, Si	Alta
Yeso	Sulfato hidratado (Sulfatos)	Ca, S	Alta

Tabla 2.

Composición mineralógica de los materiales parentales más representativos en Colombia.

* Basada en la tabla de reacción de Bowen (Cornelius, 1980).

Los materiales denominados **piroclastos** se clasifican según su diámetro en: Partículas denominadas **cenizas** cuando el diámetro es inferior a 2 mm, lapilli entre 2 y 64 mm y bombas y bloques a fragmentos con un diámetro superior de 64 mm (Gómez *et al.*, 1975).

en la parte superior de las vertientes y, en algunos sectores, en las estribaciones de las tres cordilleras. Para la zona cafetera en particular, hasta la década de 1990, se hablaba que cerca del 40% se encontraba en este tipo de suelos.

Los suelos cuyo origen son las cenizas volcánicas abarcan una extensión aproximada de 11,6% del área total cultivada en Colombia (Zapata, 2006), se localizan



Figura 1.

Suelos formados a partir de depósito aluvial.



Figura 2.

Suelos formados a partir de roca sedimentaria.



Figura 3.

Suelos formados a partir de piroclastos (La Unión - Nariño).

Otras áreas han desarrollado suelos a partir de los siguientes materiales:

- Cordillera Oriental: Hacia el sur, en el macizo Garzón, a partir de rocas ígneas y metamórficas. En el centro, Cáqueza, Guadalupe, Villeta, es común hallar amplias zonas con suelos originados a partir de materiales sedimentarios, mientras que al norte de esta cordillera, particularmente en Girón y el denominado Macizo Santander, los suelos se desarrollaron a partir de rocas sedimentarias y metamórficas, respectivamente.
- Cordillera Central: En el centro y sur, Antioquia y parte del Tolima, los suelos tienen un origen ígneo, mientras que hacia la parte norte de esta cordillera son abundantes los depósitos sedimentarios.
- Cordillera Occidental: Abundan capas de rocas sedimentarias intercaladas con materiales ígneos.
- Sierra Nevada: Suelos derivados de rocas ígneas y metamórficas.
- Llanos Orientales: Conformado en su gran mayoría por sedimentos procedentes de la cordillera Oriental.

El clima

Influye en la transformación del material parental, de los compuestos orgánicos y de los fertilizantes que ingresan al sistema (Jenny *et al.*, 1941), también en la manifestación del

color, en el pH, en el contenido de nutrientes y en la actividad microbiológica (Zech *et al.*, 1999; McCulley y Burke, 2004).

Tratándose del clima, es preciso hacer énfasis en los siguientes componentes:

Temperatura. Para Colombia, la temperatura del aire disminuye con la altitud, sin embargo, existen variaciones para una misma altura sobre el nivel del mar, dependiendo si las vertientes de las cordilleras se orientan hacia las grandes llanuras del país (Atlántica, Pacífica, Llanos Orientales) o hacia los valles interandinos (Flórez, 1986). Así, los gradientes de temperatura para la región Andina presentan valores de 0,61 °C por cada 100 m de altitud y la región Atlántica, Pacífica, la Orinoquía y la Amazonía entre 0,55 y 0,58 °C (Jaramillo, 2005).

La temperatura del suelo, que en algunas zonas cafeteras del país, generalmente es mayor a la temperatura ambiental alrededor de 1,3 °C (González *et al.*, 2009), juega un papel determinante en el aumento de la actividad de microorganismos (Lutzow *et al.*, 2006; Wild, 1992). Una mayor temperatura favorece que los materiales orgánicos que caen al suelo, pierdan humedad y se incremente la velocidad de descomposición y mineralización de la materia orgánica -MO- (González, 2008). Éstas son algunas de las razones por las cuales en áreas cálidas de la zona cafetera, los contenidos de MO tienden a ser inferiores respecto a la de los sitios con menor temperatura ambiental (Figura 4).

Es válido anotar que el fenómeno descrito no es consecuencia exclusiva del clima. El material parental y otros factores de formación sobre los cuales se hará énfasis en adelante, participan activamente y sin exclusión.

Precipitación y humedad. Otro de los componentes del clima de importancia es la precipitación, la cual tiende a incrementarse gradualmente hasta una altitud aproximada de 1.800 m. En la región Andina de Colombia, este comportamiento cambia tratándose de una vertiente u otra, pero en general, las máximas lluvias ocurren entre 1.300 y 1.500 m (Figura 5). De allí en adelante tienden a disminuir con la altitud (Jaramillo, 2005).

La anterior consideración permite establecer que el suelo es también un componente del ciclo hidrológico, debido a que en los bosques de niebla, que se encuentran situados en la franja altitudinal próxima al páramo, donde son menores tanto la pluviosidad como la radiación solar, el agua que ingresa a través de la lluvia es almacenada en el suelo y parte de ella se infiltra paulatinamente; esto explica en buena medida el por qué las fuentes de agua (Acuíferos, nacimientos y corrientes), que irrigan la parte media y baja de la vertiente, permanecen abastecidas del preciado líquido, aun en temporadas de sequía (González, 2011).

El relieve

El relieve hace referencia a las diferentes formas del terreno como montañas, colinas, cordilleras, valles, terrazas, abanicos y conos volcánicos, entre otros. Uno de los atributos más importantes del relieve es la pendiente, cuyos componentes más relevantes son el grado y la longitud. Con base en el grado, se distinguen los tipos de relieve que se presentan en la (Tabla 3).

De igual forma, se han establecido cuatro categorías según la longitud de la pendiente (Tabla 4).

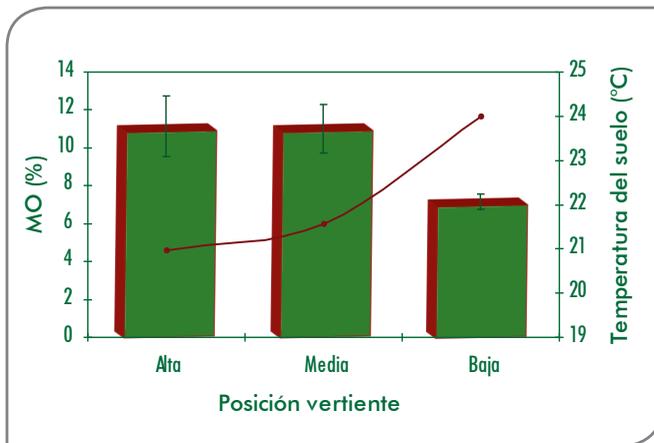


Figura 4.

Contenidos de MO en función de la altitud (Posición en la vertiente) y la temperatura del suelo que corresponde a la línea en la gráfica (González, 2012).

Consideraciones prácticas

En los ecosistemas cafeteros, particularmente lotes con altos contenidos de materia orgánica, es menor la probabilidad de hallar disturbios asociados con la carencia de agua como marchitez en las plantas, debido a que el agua que alcanza a almacenar el suelo durante las épocas de lluvia, en muchos casos es suficiente para abastecer al cultivo en temporadas secas, como la que se presenta durante un evento del Fenómeno de El Niño.

La pendiente afecta de manera variable el desarrollo genético del suelo y, por ende, sus características físicas y químicas (Dorronsoro, 2004).

Como es natural, las pérdidas de suelo ocasionan variaciones en el contenido de materia orgánica (MO) y espesor del horizonte A, en una misma la vertiente (Figura 6), fenómeno que se percibe aun a nivel de microcuena (González, 2012).

En general, en el pie de la vertiente puede haber acumulación de materiales orgánicos e inorgánicos provenientes de las partes altas, pero no siempre dicha

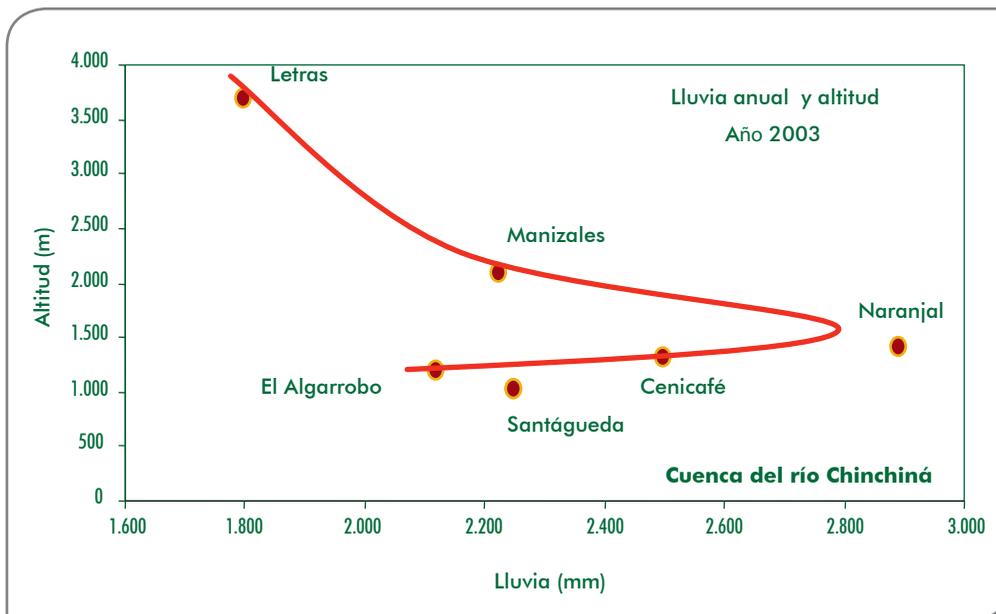


Figura 5.

Variaciones en la pluviosidad según la altitud, en una misma vertiente (Jaramillo, 2005).

Ángulo (Grados)	Porcentaje (%)	Clasificación
0 - 15	0% - 25%	Baja
15 - 30	25% - 60%	Media
30 - 45	60% - 100%	Alta
> 45	> 100%	Muy alta

Tabla 3.

Clasificación morfológica de la pendiente (Van Zuidam, 1989; en Van Westen, 1993).

Longitud (m)	Denominación
Menor de 50	Corta
50 - 150	Media
150 - 300	Larga
Mayor de 300	Muy larga

Tabla 4

Clases de pendientes según la longitud (IGAC, 1995)

acumulación se refleja en una ganancia en profundidad del horizonte A. Este fenómeno, discutido en función del clima, se presenta debido a que las partes bajas generalmente son más cálidas y, en consecuencia, la intensa actividad microbiológica no favorece el desarrollo de un horizonte superficial espeso (González et al., 2008).

Integrando conceptos

Interacción del clima con el relieve en el desarrollo de los suelos

Un ejemplo práctico de cómo los efectos del clima y el relieve al combinarse generan un tipo de suelos en particular, se ilustra a continuación (Figuras 7, 8, 9 y 10).

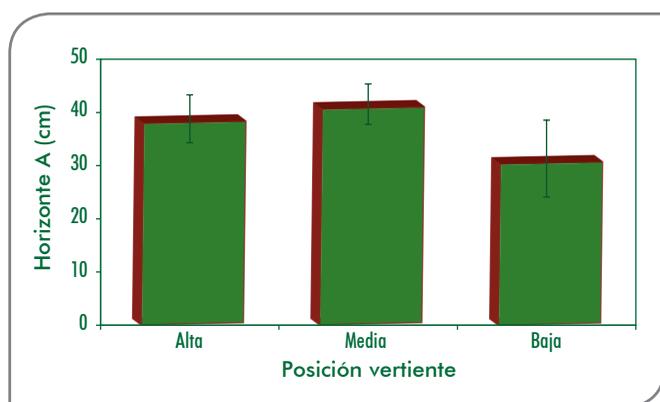


Figura 6.

Espesor del horizonte A en cafetales a lo largo de una vertiente (González, 2012). La posición se definió ubicando tres fracciones iguales en la vertiente a partir de la divisoria de aguas a escala de microcuenca (0%-33% parte alta, 33% a 66% intermedia y 66% en adelante, parte baja).

Consideraciones prácticas

Mientras más inclinada sea la vertiente mayor potencial de erosión presenta, debido a que este fenómeno se encuentra altamente influenciado por la gravedad. De esta forma, el agua que corre sobre el suelo tiende a remover las partículas originando erosión hídrica superficial, cuya acción reduce los contenidos de materia orgánica y el espesor de los horizontes superficiales; en consecuencia, los suelos son menos profundos, frágiles, más susceptibles a la erosión y pobres en nutrientes.

Las masas de aire provenientes del Pacífico chocan contra la vertiente occidental de la cordillera Occidental, y prácticamente descargan la mayor cantidad de lluvia en este sector. Como consecuencia, parte de las nubes al traspasar la montaña quedan menos saturadas y al movilizarse por la ladera opuesta, cañón del río Cauca, se calientan por compresión y dan lugar a una zona de menor pluviosidad y mayor temperatura para una misma altitud, fenómeno climático conocido como “Efecto Foehn” (Jaramillo, 2005).

Resultado de todo esto es la aparición de épocas de marcada sequía para la vertiente opuesta y una muy alta probabilidad de que sus suelos presenten un horizonte A con muy bajos contenidos de materia orgánica (González, 2009).

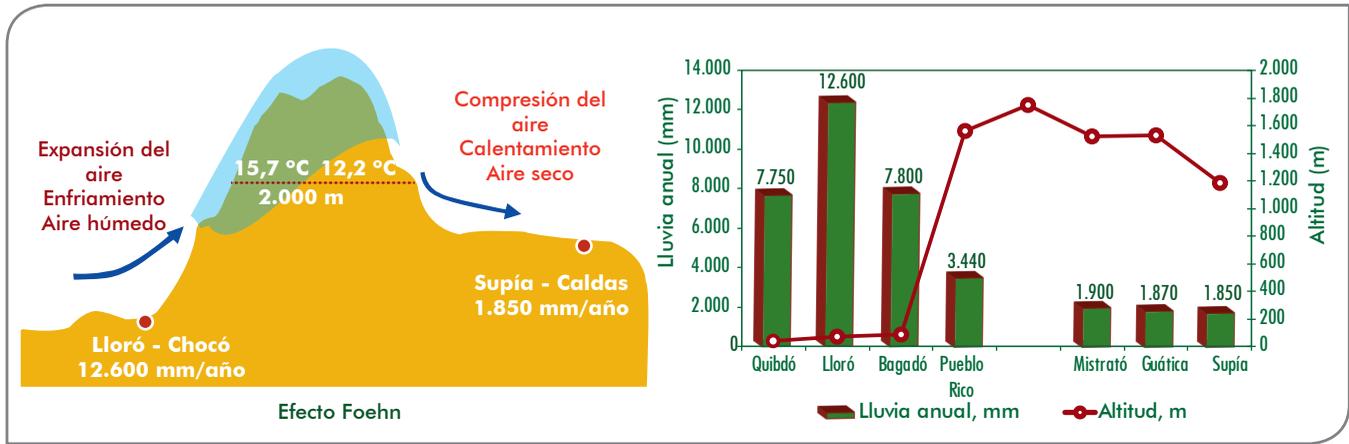


Figura 7.

Efecto Fohen, ilustrado para una misma altitud y dos vertientes opuestas entre Chocó y Caldas (Jaramillo, 2008).

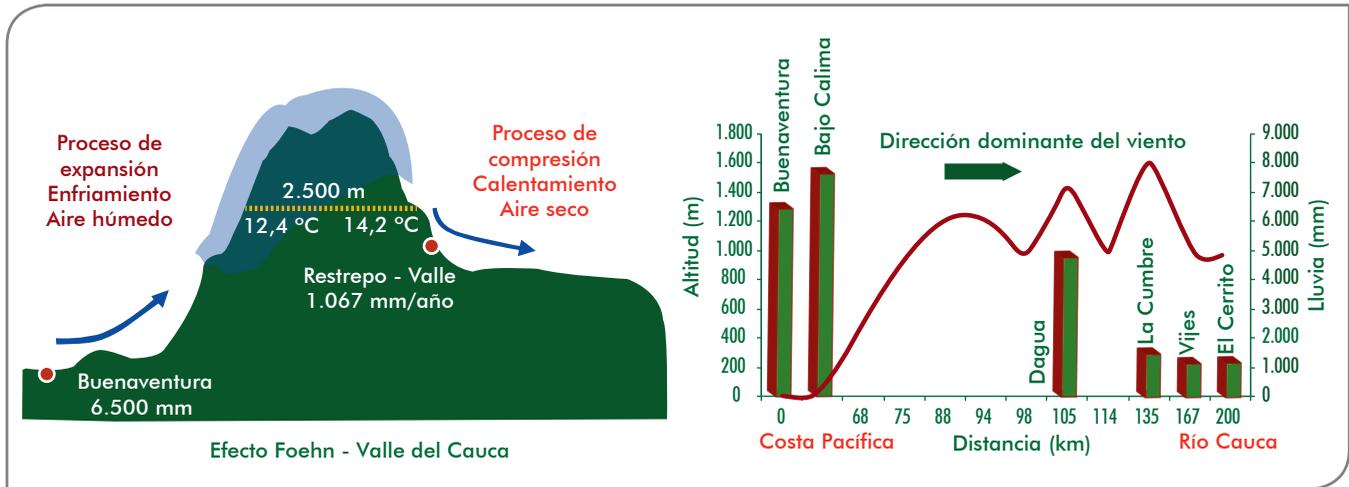


Figura 8.

Efecto Fohen, ilustrado para una misma altitud y dos vertientes opuestas entre Chocó y Valle del Cauca (Jaramillo, 2008).

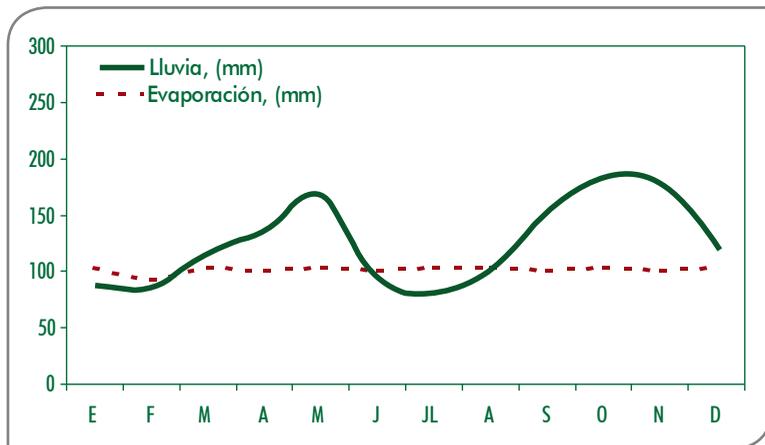


Figura 9.

Déficit de humedad en el suelo debido al Efecto Fohen.



Figura 10.

Imagen de satélite donde se ilustra el fenómeno del efecto Föhn en las regiones descritas.

Los organismos

El componente vivo del suelo involucra la vegetación, los grandes animales (Incluidos los seres humanos), los meso y microorganismos; todos participan desde su misma formación. Así, una de las primeras fases en el desarrollo de los suelos comienza cuando la vegetación se establece sobre el material parental. Los organismos que se allí se adhieren, por efecto de su metabolismo celular, secretan sustancias orgánicas que promueven la alteración de las rocas y minerales propiamente dichos, con la subsecuente liberación de los nutrimentos, los cuales potencialmente pueden ser absorbidos por las plantas o son nuevamente depositados en el sistema suelo, mediante el aporte y descomposición de sus subproductos (Hardy, 1970).

De esta manera, cuando hojas, tallos, flores, raíces y frutos, en cuya composición elemental se encuentran azúcares, carbohidratos, lignina, celulosa y otro tipo de compuestos orgánicos, ingresan al suelo, comienza una serie de transformaciones de tipo físico y químico, que son mediadas por el componente vivo allí establecido.

En este orden de ideas, artrópodos (Insectos), anélidos (Lombrices), nematodos, crustáceos y moluscos comienzan a fraccionar las grandes estructuras orgánicas, haciendo de éstas unidades más pequeñas, movilizándolas a diferentes profundidades. Al mismo tiempo, grupos de bacterias, actinomicetos, algas y hongos, referidos colectivamente como microflora, continúan con las transformaciones a



menor escala, generando así liberación de calor, de CO₂, de antibióticos, de metabolitos, de sustancias que controlan otras poblaciones de organismos (Fernández y Vega, 2001; Viteri *et al.*, 2002), además de distintos minerales potencialmente aprovechables (Osorio, 2005; Katiyar y Goel, 2003; Vera *et al.*, 2002; Reddy *et al.*, 2002).

Estrictamente hablando del grupo de los seres que engloba el concepto de microorganismos, en áreas cultivadas pueden hallarse poblaciones que fluctúan entre los cien mil hasta cien millones de individuos totales por gramo de suelo (Sylvia *et al.*, 1999), abarcando cerca de 18 mil especies (Marín, 2005). Tanto su cantidad como diversidad, puede variar en función de las condiciones de uso y manejo de los suelos, temperatura (MacDonald *et al.*, 1995), pH, contenido de materia orgánica, textura y diversidad de especies vegetales (MCulley y Burke, 2004).

Por lo mencionado anteriormente, puede decirse que:

- En el suelo hay una permanente competencia por espacio, oxígeno, nutrientes y humedad, condiciones que reafirman que se trata de un cuerpo natural, susceptible a los cambios que conduzcan a su formación, evolución o perecimiento.
- Existen elementos nutritivos que requieren de la estricta mediación del componente microbiológico del suelo para que puedan ser aprovechados por las raíces de las plantas, ellos son nitrógeno, fósforo y azufre.

El sombrío regula la cantidad de luz, amortigua los cambios bruscos de temperatura, protege el suelo del impacto directo de las gotas de lluvia gracias al “colchón” de biomasa que se instala en la superficie y que posteriormente, ingresa al suelo para contribuir con

el mejoramiento de sus propiedades físicas y químicas. Un estudio desarrollado por Cardona y Sadeghian (2005), en ocho suelos de la zona cafetera de Colombia, demuestra cómo los árboles de guamo (*Inga spp.*) en asocio con café contribuyen a través del ciclaje de biomasa y de la acción de sus raíces, a incrementar el espacio poroso del suelo y lo convierten en un individuo sin limitaciones o impedimento para el desarrollo de las raíces, el anclaje de las plantas, la infiltración del agua y el flujo de aire requeridos para el funcionamiento del ecosistema.

La actividad humana contribuye a mejorar o deteriorar el recurso. En este orden de ideas, cuando en un lote se presenta un horizonte A incipiente, en términos de poco espesor, se recomienda que con adecuadas prácticas de cultivo, el ciclaje de hojas y ramas empiece a generar un horizonte orgánico, con el cual se mejoren algunas de las propiedades físicas como las mencionadas (González, 2012).

La aplicación de abonos puede cambiar las propiedades químicas y físicas del suelo (Díaz *et al.*, 2008; Sadeghian, 2003; González y Sadeghian, 2006), mientras que el arado y la mecanización intensiva también alcanzan a alterar sus características biológicas (Marín y Feijoo, 2007).

El tiempo

A nivel general, se admite que un suelo joven presenta un horizonte A ubicado directamente sobre el lecho rocoso o el material parental, y conforme avanza su evolución desarrolla dos, tres o más horizontes.

En la Figura 11, se presenta lo que puede considerarse una secuencia cronológica de la formación y evolución

Consideraciones prácticas

A escala de los grandes organismos, se ha demostrado que la instalación de especies arbóreas en asocio con los cultivos, además de proporcionar sombrío, contribuyen a conservar más eficientemente el agua, proteger el suelo de la erosión y aportar nutrimentos que provienen de la hojarasca (Sadeghian et al., 1998).

Correa (2005), en su revisión sobre los estudios de materia orgánica en Colombia, reporta que la cantidad de material orgánico que cae anualmente al suelo en plantaciones de café varía entre 4 y 13 toneladas por hectárea al año y contiene altas cantidades de N y K, principalmente. Cardona y Sadeghian (2005) estudiaron el mismo fenómeno y encontraron que el aporte de residuos orgánicos producidos por cafetales en asocio con guamo era cercano a las 11 t.ha-año⁻¹ y el aporte de N, P, Ca, Mg y Zn fue significativo; en contraposición, para siembras de café en monocultivo reportan aportes de material orgánico de 4,4 t.ha-año⁻¹.

en un suelo originado a partir de la misma roca (Material parental), pero en diferentes ambientes, en el departamento de Antioquia. El ejemplo no ilustra la secuencia para un perfil en particular, pues como se ha venido anotando, es muy difícil percibir estos cambios en cortos períodos de tiempo.

Un esquema que explica cómo con el transcurrir del tiempo la interacción del material parental, la temperatura y los organismos, en un relieve específico, permiten la manifestación de un tipo de suelos en especial, puede verse reflejado en los estudios González (2008), acerca del humus en la zona cafetera de Caldas. En este sentido, González (2008) discute cómo para algunos lotes de café situados en suelos de origen metamórfico y pendientes mayores al 100%, donde la temperatura ambiente promedio era de 22 °C, el aporte de biomasa proveniente de los árboles de sombrío que se encontraban en dichos lotes, por un período superior a los 10 años, alcanzaba a generar un horizonte A de menos de 0,1 m de espesor. Esto indica que en estas condiciones específicas, una década puede ser insuficiente para lograr el desarrollo de un suelo profundo.

Lo anterior deja entrever las transformaciones puntuales asociadas a las condiciones agroecológicas de una localidad determinada. De esta forma, el material parental se convierte en unidades cada vez más pequeñas por los factores ya discutidos, dando lugar a la fracción inorgánica del suelo en la que se distinguen, a nivel general, tres tipos de partículas clasificadas según su tamaño: **Arcillas** (<0,001 mm), **limos** (0,001-0,1 mm) y **arenas** (>0,1 mm), que debido a sus puntos químicos,

adhieren el agua, elementos químicos y otras moléculas del suelo. Durante estas transformaciones se liberan nutrimentos potencialmente aprovechables por las raíces de las plantas o sustancias tóxicas, como es el caso de los denominados metales pesados, que ocasionan efectos nocivos tanto para los humanos como para el ecosistema en general. Un mecanismo análogo explica las rutas que toman los órganos de planta y animales que ingresan al suelo, de los cuales, una parte pasa como nutrientes para las plantas o los microorganismos, y otro tanto constituye la materia prima para la formación del humus, el cual exhibe también puntos eléctricamente activos (González *et al.*, 2008), que les facilita adherirse a las partículas inorgánicas del suelo.

La fracción orgánica e inorgánica del suelo y las sustancias resultantes, durante la formación de las mismas, se amalgaman y quedan sujetas a los procesos de formación, que no son más que agentes que imprimen huellas en el suelo y que definen particularidades en sus horizontes.

Procesos de formación de los suelos

A nivel general los procesos de formación de los suelos, se conocen como el conjunto de actividades o fenómenos en los cuales se presentan:

Adiciones

Como sistema, el suelo está sujeto a la entrada permanente de materiales de toda índole, como fragmentos de vegetación y de otros organismos vivos, así como sustancias y elementos químicos que ingresan

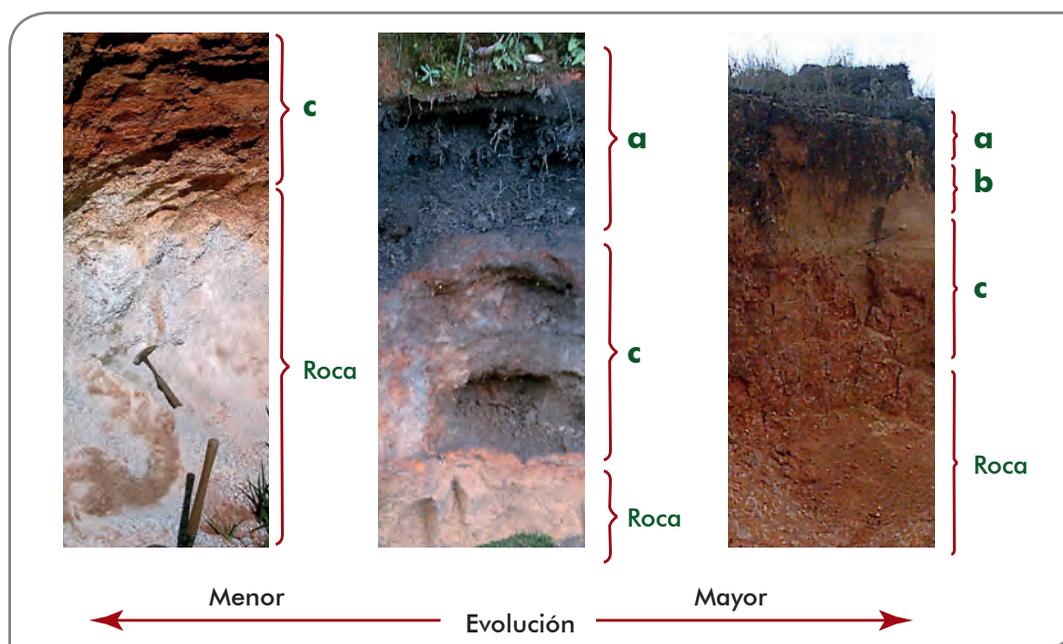


Figura 11.

Secuencia de la formación y evolución de un suelo (Tomado de González, 2010).

a través de los fertilizantes y enmiendas, entre otros, los cuales se consideran adiciones.

En un ambiente puede haber acumulación de mantillo, capote o compuestos orgánicos fraccionados, de diversas formas y tamaños, que están en vía de descomposición; este proceso identifica el horizonte O.

Transformaciones

Los componentes del suelo se alteran por acción mecánica (Rompimiento, fragmentación) o por procesos bioquímicos, resultantes del ciclo de vida de los microorganismos y las raíces de las plantas. Al mismo tiempo, estos cambios involucran un conjunto de reacciones que químicamente reciben el nombre de soluciones, hidrataciones, oxidación, reducción, carbonatación y la formación de ácidos (Ataque ácido) y bases.

Cuando en las transformaciones se encuentra involucrada la acción del componente vivo del suelo, los elementos contenidos en los tejidos orgánicos pasan a formar parte de la reserva de nutrimentos aprovechables por las plantas y los microorganismos, a lo que se denomina **mineralización**, y aquellos compuestos difíciles de transformar por la acción microbiana se cementan, conforman el humus y contribuyen con el proceso de **humificación** (González, 2009).

Otro tipo de transformaciones pueden detectarse a través de los siguientes indicadores:

- Una **progresiva oxidación del hierro (Fe)**, que da lugar a tonalidades rojizas en suelos bien aireados y drenados, son denominados **rubefacción y ferratización**;
- **La fusión del Fe oxidado con la materia orgánica da lugar al empareamiento** (Suelos de color pardo) **y la fusión del humus con algunos compuestos inorgánicos del suelo permiten la melanización** (Suelos con tonalidades que tienden a negro oscuro).
- En **condiciones de encharcamiento** (Mal drenaje), se presenta el proceso de **gleyzación** el cual hace referencia a la reducción química del Fe, cuya manifestación deja en el suelo unas huellas o parches de color gris - azul.

Algunos ejemplos se ilustran en Figuras 12 y 13.

Desde el punto de vista físico hay transformaciones como **el endurecimiento y pérdida del espacio poroso del suelo**, como el que se presenta en praderas con pastoreo intensivo, o en suelos que han perdido la materia orgánica. Pero también se da el efecto contrario que se denomina **“esponjamiento”**, cuando al sistema ingresa materia

orgánica que con el tiempo mejora la condición física del suelo.

Translocaciones

El término hace alusión al movimiento de partículas que se presenta entre los horizontes a través de un medio que por excelencia es el agua. Se distinguen movimientos de partículas muy pequeñas del componente inorgánico, como las arcillas (Eluviación), hacia horizontes subsuperficiales.

Cuando este proceso contribuye a movilizar verticalmente algunos iones del suelo encapsulados por los ácidos orgánicos presentes en la materia orgánica, se denomina **podsolización** (Espodos, que significa color de ceniza de madera); aunque es preciso recordar que el fenómeno no es del todo frecuente en nuestra zona cafetera, pues para su manifestación requiere de una vegetación que haga un aporte significativo de materiales orgánicos, baja temperatura para la acumulación de materia orgánica y una significativa precipitación que empuje el complejo de iones y ácidos orgánicos en profundidad.

Los excesos de lluvia ocasionan reducciones del pH, por lo tanto, el suelo se torna muy ácido (pH inferior a 4,5) y los ácidos orgánicos de la materia orgánica que tiene cargas eléctricas negativas, envuelven o encapsulan elementos como el Fe, Mn y Al, formando compuestos coordinados que se mueven a las instancias inferiores del perfil (González et al., 2009).

El esquema general de este fenómeno se ilustra en la Figura 14, que corresponde a un suelo del municipio de Santa Rosa de Osos, en Antioquia.

El agua que se filtra también puede mover otros iones hacia los horizontes más profundos del suelo o viceversa (**Lavado y desbasificación**), o por el contrario, cuando la evaporación supera los niveles de precipitación. Bajo esta última circunstancia, la superficie del terreno se satura con sales (**Salinización**), que con el tiempo forman costras a nivel superficial (**Acumulación de yeso y carbonatos**). Además, es frecuente en terrenos con superficies cóncavas, debido a la posibilidad de que el agua se estanque por largos períodos de tiempo.

Algunas arcillas del suelo se expanden en épocas de lluvia y se contraen cuando pierden la humedad, las grietas resultantes de este proceso se van rellenando con diversos materiales, que al cabo del tiempo, resultan mezclándose una vez que las arcillas vuelven a incrementar su volumen cuando se humedecen. Este fenómeno es crítico en la medida que el horizonte en cuestión esté próximo a la zona de raíces del cultivo,

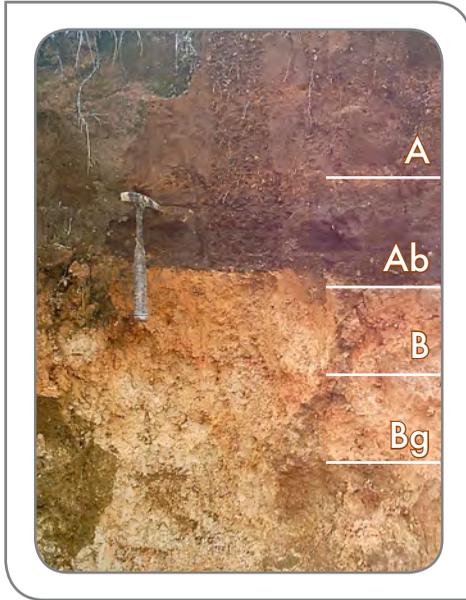


Figura 12.

Procesos de melanización (Horizonte A) y gleyzación (Horizonte gris).



Figura 13.

Procesos de empardecimiento (Horizonte A) y rubefacción (Horizonte B).



Figura 14.

Ejemplo de podsolización en un suelo de Santa Rosa de Osos, Antioquia.

bien sea porque el exceso de humedad pudre o la carencia rompe estos órganos de la planta. Un ejemplo de ello se presenta en la sectores de la zona cafetera de Caldas, Valle del Cauca y Risaralda, donde aflora la unidad Malabar, que posee un horizonte B con estas características (Figura 15), fenómeno descrito por González y Salamanca (2008).

Pérdidas

Ocurren cuando los materiales salen del sistema. El proceso puede ser percibido visualmente ante manifestaciones tales como los movimientos en masa y remoción de suelos para la cimentación de obras (Figura 16).

Las pérdidas pueden ser evidenciadas a partir de indicadores químicos como el análisis de suelos, que establecen si del suelo se han perdido los minerales por efectos de lixiviación o por agotamiento, en el caso que las plantas lo requieran.

La migración de materiales entre horizontes del suelo por cuenta de artrópodos, anélidos, arácnidos y el movimiento de iones desde las partes inferiores hacia el horizonte superficial, durante el ciclaje de nutrientes ejercido por la vegetación, constituyen otra modalidad de pérdidas.

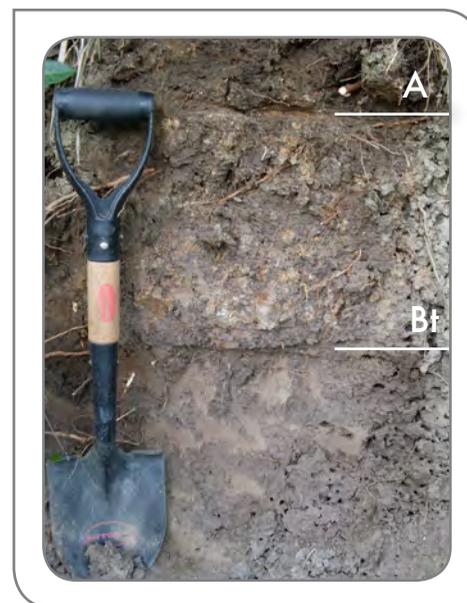


Figura 15.

Unidad de suelos Malabar.

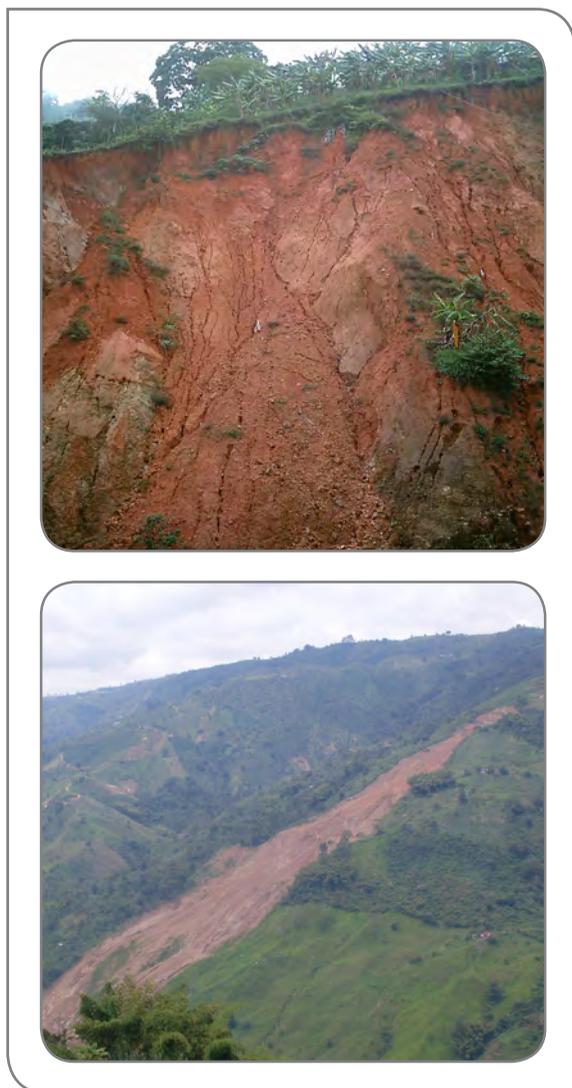


Figura 16.

Pérdidas del horizonte superficial en suelos de Santa Fe de Antioquia y Fresno (Tolima).

El perfil del suelo

Los factores y procesos de formación del suelo dejan unas marcas en éste, a través de unas franjas más o menos paralelas a la superficie del suelo que constituyen sus **horizontes**. El conjunto de horizontes se denomina perfil del suelo, y es a través de su estudio que puede comprenderse su génesis, evolución y las opciones más acertadas para su aprovechamiento, uso racional y su conservación.

Los horizontes maestros se denotan con las letras mayúsculas O - A - E - B - C - R.

Las letras minúsculas que acompañan esta nomenclatura (Subíndices) hacen referencia al proceso específico que se presenta (Figura 17).

El significado de algunos subíndices se relaciona a continuación:

- a. Materia orgánica muy descompuesta
- b. Horizonte A sepultado
- c. Nódulos de Fe
- d. Indica resistencia física a la penetración de las raíces por causas antrópicas
- e. Materia orgánica en mediano estado de descomposición
- f. Suelo que permanece congelado
- g. Horizonte gleyzado
- h. Acumulación de materia orgánica como en el caso de los espodosoles
- i. Materia orgánica en estado inicial de descomposición
- k. Acumulación de carbonatos
- m. Endurecimiento por minerales
- p. Suelo arado o cultivado
- r. Roca suelta
- w. Horizonte de alteración
- y. Acumulación de yeso
- z. Acumulación de otras sales más solubles al yeso

De acuerdo con las definiciones anteriores, los suelos pueden ser agrupados por características en común. La FAO y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) han implementado un sistema de clasificación que tiene dentro de sus objetivos identificar las limitaciones y potencialidades de este recurso natural. Dicha herramienta ha sido fundamental para la valoración de tierras, planes de ordenamiento territorial y la delimitación de áreas para la conservación y comercialización de servicios ambientales.

La Figura 18 presenta las jerarquías contempladas en los sistemas de clasificación descritos (SSS, 2003) y de manera general, su significado. El nivel de detalle aumenta conforme se baja en la pirámide, siendo la más general la categoría de orden, mientras que la de familia y serie son las categorías que definen características más específicas para una localidad en particular. En tal sentido, designar un suelo a nivel de **orden**, puede tener un amplio significado para suelos como los Andisoles, los cuales se caracterizan porque su material parental son cenizas volcánicas y, por lo general, aparte de sus altos contenidos de materia orgánica, poseen magníficas condiciones físicas para el cultivo del café, mientras que para un suelo denominado



Figura 17.

Nomenclatura que expresa en un perfil del suelo sus horizontes maestros y procesos específicos.

Alfisol, se puede inferir la presencia de un horizonte que impide la penetración de las raíces. Contrario a esto, la designación en la misma jerarquía de Ultisol, Entisol o Inceptisol, puede no tener mucha relevancia, si antes no se descarta la posibilidad de que tengan características como las de los órdenes Histosol, Espodosol o los inicialmente mencionados (González, 2010).

A continuación se presenta cómo esta herramienta ha servido en el Gremio Cafetero del país (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia - FNC), para la toma de decisiones en torno a los temas agronómicos, sociales y económicos, asociados al cultivo del café (FNC, 1990).

Consideraciones prácticas

Se hace conveniente advertir que, avanzar en la escala de detalle implica la inversión adicional de equipos, recursos y personal calificado. Adicionalmente, la idea no es describir por completo en qué consisten estas jerarquías pero sí dar ejemplos, de cómo mediante su utilización se han diferenciado algunos suelos en Colombia, particularmente en la región cafetera.

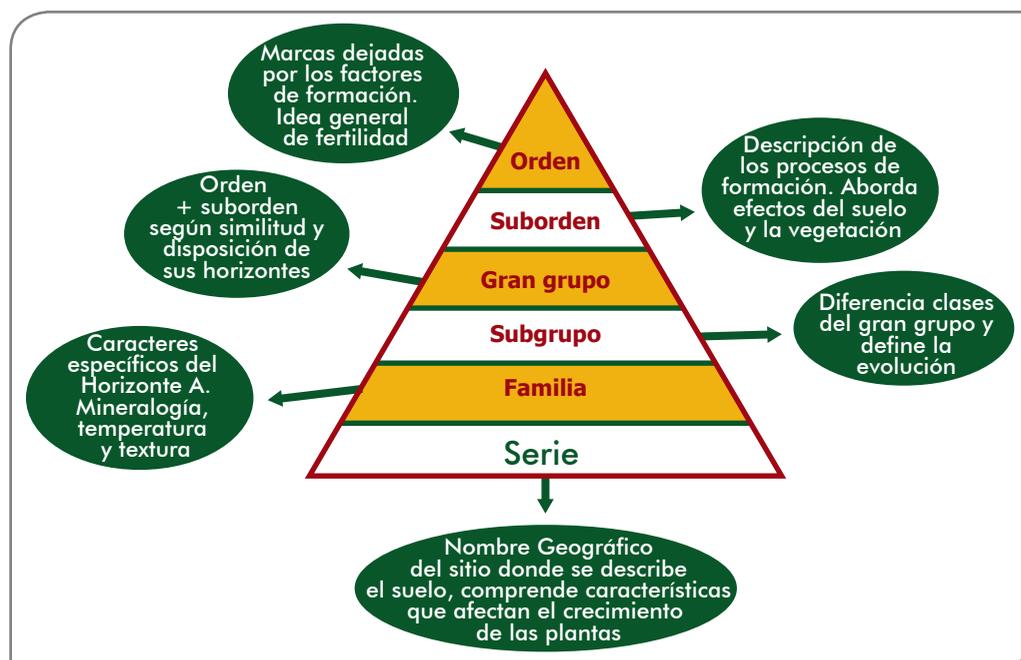


Figura 18.

Aproximación al significado de las jerarquías contempladas en los sistemas de clasificación descriptos (González, 2012).

Suelos de la zona cafetera

La región cafetera de Colombia está dividida en 86 ecotopos, los cuales están delimitados geográficamente por ríos o altitudes, y fueron mapeados a una escala regional de 1:100.000, lo que significa que dicha zonificación da claridad para rasgos con una longitud mayor a 1.000 m (1 km). El estudio de Ecotopos Cafeteros cuenta, entre otros, con la descripción del tipo de suelos, que en total suman 87 unidades, aproximadamente, que por la escala de levantamiento (1:100.000) es muy común encontrar que se representen en términos de consociación o asociación, lo que significa que en ese lugar se ubica más de un tipo de suelo, que por el detalle de la escala no es posible separar. Dichas unidades se entrecruzan en la horizontal y no en la vertical, es decir, no se presenta una unidad de suelo sobre la otra, como sí ocurre con los cuerpos geológicos.

De las 87 unidades edáficas descritas en el estudio de ecotopos (Tabla 5), el 13% son representativas a nivel regional, es decir, están presentes en tres o más departamentos, entre ellas las más destacadas son Chinchiná, por haber sido reportada en nueve departamentos, la unidad Doscientos reportada en seis departamentos, y las unidades Tablazo y Guadalupe reportadas en cinco departamentos; mientras que el 54% de las unidades son de interés local, es decir, están presentes solamente en un departamento, como es el caso de las unidades Quindío, Venecia y San Simón, entre otras.

La descripción de cada una de las unidades de suelos, al igual que los municipios donde se presentan, se resume en la Tabla 6, la cual además de contener las unidades de suelo incluye material parental, profundidad, condiciones físicas, fertilidad natural y potencial, pendiente del terreno, susceptibilidad a la erosión hídrica y las observaciones más relevantes. Dicha tabla fue construida con la información presentada por Gómez *et al.* (1991), quienes indican que la signatura de los Ecotopos Cafeteros está conformada por tres números que representan las tres cordilleras y la Sierra Nevada de Santa Marta, y en la mayoría de los casos una letra, sea la A para la vertiente occidental o la B para la oriental.

A continuación se desglosa el significado de lo que consigna en la Tabla 6:

Material parental. Aspecto discutido anteriormente.

Profundidad efectiva. Existen varias categorías de clasificación, entre las más conocidas se tienen las definidas por la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) y la FAO (Organización de las Naciones

La Federación Nacional de Cafeteros, a través del programa de Desarrollo y Diversificación, realizó estudios sistematizados en los cuales recopiló información relacionada con aspectos climáticos, características geológicas, físicas y químicas de los diferentes suelos y el uso adecuado de éstos. Los estudios de “Zonificación y uso potencial del suelo” tenían como propósito delimitar la zona cafetera óptima y determinar su vocación de uso y manejo, con el fin de incrementar la productividad agrícola y ofrecer alternativas de agroindustria.

Al principio, se realizaron observaciones a escala departamental, posteriormente conscientes de que existían zonas con similitud en sus condiciones predominantes de clima, suelo y relieve, en las cuales se obtiene una respuesta biológica similar del cultivo del café, se hizo una reagrupación en lo que actualmente se denomina “Ecotopos Cafeteros”.

Los Ecotopos Cafeteros contemplan también la delimitación e identificación de suelos con un perfil semejante y se asocian en lo que se conoce como unidades cartográficas de suelos. Cada unidad de suelos cuenta además con la descripción física y química de al menos un perfil característico, a partir del cual puede generarse una aproximación para su posible uso potencial (González y Salamanca, 2008; González, 2008; González, 2010).

Unidas para la Agricultura), establecidas según criterios para el manejo de diversos cultivos. Para café se pueden tomar como:

- Suelos superficiales aquellos con espesor de 10 cm
- Suelos con profundidad media aquellos con espesor mayor a 10 cm y menor a 30 cm
- Suelos profundos con espesor mayor a 30 cm

Dicha clasificación se puede basar en que la raíz pivotante del café alcanza más de 30 cm de profundidad, lo que indica que un suelo con una profundidad efectiva inferior a los 10 cm no es capaz de proporcionar todos los requerimientos a las raíces, debido a que cerca

Unidad de Suelo	Departamentos donde ha sido se reportada
Amagá	Antioquia
Armenia	Antioquia
Balboa	Risaralda, Valle del Cauca, Cauca y Nariño
Cajibío	Cauca
Cantarranas	Santander
Cartagenita	Norte de Santander
Cascarero	Valle del cauca y Quindío
Catarina	Risaralda, Valle del Cauca y Chocó
Chanchón	Santander
Chinchiná	Antioquia, Caldas, Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca
Chuscal	Caldas y Risaralda
Cínera	Santander y Norte de Santander
Cincho	Boyacá y Santander
Colón	Tolima
Combeima	Tolima
Doña Juana	Nariño
Doscientos	Antioquia, Caldas, Cauca, Nariño, Risaralda y Valle del Cauca
Dovio	Valle del Cauca
El Peñol	Antioquia
El Recreo	Huila
El Rosario	Cauca y Huila
Fondesa	Valle del Cauca
Fresno	Caldas y Tolima
Garzón	Huila
Génova	Valle del Cauca y Quindío
Guadalupe	Boyacá, Cundinamarca, Huila, Santander y Tolima
Guaduas	Cundinamarca y Tolima
Gualí	Caldas y Tolima
Isnos	Huila
Junín	Tolima
La Espiga	Tolima y Huila
La Estrella	Valle del Cauca
La Laguna	Norte de Santander
La Laja	Boyacá
La Loma	Nariño

Tabla 5.

Unidades de suelo con los departamentos donde han sido reportadas en Colombia.

Continúa...

...continuación

Unidad de Suelo	Departamentos donde ha sido se reportada
La Mutis	Norte de Santander
La Victoria	Santander y Norte de Santander
Lengupá	Boyacá
Líbano	Tolima
Llana Fría	Santander
Llano de Palmas	Boyacá, Cundinamarca y Santander
Malabar	Quindío, Risaralda y Valle del Cauca
Mayo	Nariño
Mendarco	Tolima
Miraflores	Boyacá y Santander
Mondomo	Cauca
Montenegro	Quindío y Valle del Cauca
Monterredondo	Cauca y Valle del Cauca
Mortiño	Huila
Norte	Cesar y Norte de Santander
Oiba	Boyacá y Santander
Oriente	Antioquia
Paujil	Santander y Norte de Santander
Pensilvania	Caldas y Tolima
Piendamó	Cauca y Valle del Cauca
Pubenza	Cauca
Puracé	Cauca y Nariño
Quiña	Nariño
Quindío	Quindío
Río Manso	Caldas y Tolima
Rionegro	Santander
Ropero	Boyacá, Cundinamarca y Santander
Saladoblanco	Cauca y Huila
Salgar	Antioquia
Salinas	Antioquia
San Agustín	Huila
San Simón	Cauca, Tolima y Huila
Sandoná	Nariño
Santa Cruz	Norte de Santander y Santander

Continúa...

...continuación

Unidad de Suelo	Departamentos donde ha sido se reportada
Sargento	Cundinamarca
Seguengue	Cauca
Siberia	Huila
Socorro	Cauca y Huila
Sucre	Cauca
Suroeste	Antioquia
Tablazo	Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca
Tacueyó	Cauca
Tambillo	Nariño
Tambo	Nariño
Tareas	Caldas y Risaralda
Timbío	Cauca y Nariño
Titiribí	Antioquia
Togüi	Boyacá y Santander
Venecia	Antioquia
Vergel	Nariño
Villapaz	Norte de Santander y Santander
Villeta	Boyacá, Cundinamarca y Santander

del 52,3% de las raíces absorbentes y un 47,5% de las totales del café se ubican en los primeros 10 cm, y a los 30 cm un 86,0% de las absorbentes y 89,9% de las totales (Arcila, 2007). Arcila (1992) describe como las condiciones físicas más importantes para el desarrollo de las raíces la textura (Proporción de arena, limo y arcilla), la estructura (Forma de agrupación de las partículas y distribución del espacio poroso) y la densidad aparente; condiciones que son drásticamente más favorables en horizontes efectivos.

Fertilidad natural. Se refiere a la fertilidad actual del suelo, la cual se considera baja si los contenidos de MO, P, Ca, Mg y K, por ejemplo, se encuentran en un nivel inferior a los del requerimiento del cultivo y viceversa.

Fertilidad potencial o futura. Hace alusión a los nutrientes que pueden ser aportados por los minerales del suelo.

Pendiente del terreno. Hace referencia a la inclinación con respecto a la horizontal. Para el cultivo del café, se considera una pendiente baja aquella con inclinación menor al 25%, pendiente media entre 25% y 60%, pendiente alta entre 60% y 100% y pendiente muy alta mayor a 100%.

Susceptibilidad a la erosión. Indica cuán sensible es el suelo a los procesos erosivos, siendo la lluvia el principal agente detonante para la región cafetera colombiana. Es decir, para que se presente erosión en un suelo de “susceptibilidad baja” los niveles de precipitación deben estar por encima del promedio histórico; una “susceptibilidad moderada” indica que si los niveles de precipitación aumentan sobre los registros históricos se dará erosión y la “susceptibilidad alta” muestra que con un pequeño aumento en la precipitación los procesos de erosión serán inminentes.

Como ejemplo de la utilización de las Tablas 6 y 7, se toma el caso del municipio de Paimé, Cundinamarca.

De acuerdo con la información anterior, el municipio de Paimé, Cundinamarca se ubica en el **Ecotopo 310 A**, que indica que está ubicado en el flanco occidental (Letra A) de la cordillera Oriental (3), con una **precipitación anual de 1.900 a 2.400 mm. La unidad de suelo correspondiente es la Unidad Villeta**, cuyo símbolo cartográfico es VI y el **material parental son lutitas**, que como se mencionó anteriormente son rocas de tipo sedimentario.

Tabla 6.

Unidades de suelos más representativas de la zona cafetera colombiana.

Unidad de suelo	Material parental	Profundidad	Fertilidad natural	Fertilidad potencial	Pendiente	Susceptibilidad a la erosión	Observaciones
Amagá	Diorita	Media a profundo	Variable	Media a baja	Media a muy alta	Alta	
Armenia	Esquistos	Profundo	Variable	Variable	Alta a muy alta	Alta	
Balboa	Diabasa	Media a profundo	Variable	Baja	Alta a muy alta	Baja a moderada	Cascajoso
Cajibío	Ceniza volcánica	Superficial a profundo	Baja	Baja	Baja a media	Baja	
Cantarranas	Chert	Superficial a profundo	Media	Baja	Media	Moderada a alta	
Cartagenita	Arenisca de grano fino	Superficial	Baja	Variable	Baja a alta	Alta	Arcilloso, cascajoso, con pedregosidad sobre y a través del perfil
Cascarero	Esquisto micáceo	Media	Media	Variable entre media y baja	Alta a muy alta	Alta	
Catarina	Esquistos	Profundo a superficial	Media a alta	Variable	Alta a muy alta	Moderada a alta	
Chanchón	Areniscas ferruginosas	Superficial a media	Baja	Alta	Baja a media	Alta	Arcillosos, pedregosos, con poca retención de humedad, escasa MO. pH entre 4,5 y 7,5. En algunos sectores la pendiente es muy alta
Chinchiná	Ceniza volcánica	Profundo	Baja	Baja	Media a alta	Baja	
Chuscal	Anfibolita	Superficial a media	Variable	Alta	Alta a muy alta	Alta	Cascajoso
Cincho	Calizas	Superficial	Baja a media	Baja	Media a muy alta	Alta	
Cínera	Esquisto muscovítico - Gneiss biotítico	Superficial a media	Baja	Baja	Alta a muy alta	Alta	Arenoso, cascajoso. Bajo contenido de materia orgánica
Colón	Sienita hornbléndica	Superficial a profundo	Baja a media	Alta	Media a alta	Moderada a alta	
Combeima	Filita	Superficial	Baja a media	Variable	Media a alta	Alta	
Doña Juana	Ceniza volcánica	Superficial a profundo	Baja	Baja	Media	Moderada	
Doscientos	Basalto	Superficial a media	Baja a media	Alta	Media a alta	Moderada a alta	
Dovio	Diabasa	Superficial a profundo	Baja a media	Alta	Baja a media	Moderada a alta	

Continúa...

...continuación

Unidad de suelo	Material parental	Profundidad	Fertilidad natural	Fertilidad potencial	Pendiente	Susceptibilidad a la erosión	Observaciones
El peñol	Ceniza volcánica	Superficial a profundo	Baja	Baja	Baja a media	Moderada	
El Recreo	Gneiss margoso	Media	Baja a media	Baja	Alta a muy alta	Alta	Franco arcilloso a arcilloso, cascajoso
El Rosario	Ceniza volcánica	Profundo	Baja	Baja	Media	Baja a moderada	
Fondesa	Ceniza volcánica	Superficial a profundo	Baja	Baja	Alta a muy alta	Moderada a alta	
Fresno	Ceniza volcánica	Profundo	Baja	Baja	Media	Baja	
Garzón	Gneiss muscovítico	Media	Baja a media	Baja	Alta a muy alta	Alta	
Génova	Esquisto serpentiítico	Media	Media	Alta	Alta a muy alta	Alta	
Guadalupe	Arenisca	Superficial a media	Baja a media	Variable	Baja a alta	Moderada a alta	Cascajosa, con pedregosidad en todo el perfil. Contenido de MO de medio a bajo y pH de 4,5 a 5,0
Guaduas	Areniscas y arcillolitas	Superficial a profundo	Variable	Variable	Baja a muy alta	Alta	
Gualí	Esquistos	Superficial a profundo	Media	Variable	Alta a muy alta	Alta	Cascajoso, buena permeabilidad
Isnos	Andesita horbléndica	Profundo a media	Media	Media	Media a muy alta	Alta	
Junín	Granito biotítico	Superficial a profundo	Baja a media	Media	Media a alta	Moderada a alta	
La Espiga	Granito cuarcífero	Superficial a media	Baja a media	Baja	Baja a alta	Moderada a alta	
La Estrella	Areniscas y conglomerados	Superficial a media	Media	Variable	Alta a muy alta	Alta	
La Laguna	Pizarras	Superficial	Baja	Variable	Media a alta	Alta	Arcilloso, cascajoso, con pedregosidad sobre y a través del perfil
La Laja	Calizas	Superficial a media	Baja	Baja	Media a alta	Alta	
La Loma	Areniscas olivínicas	Superficial	Variable	Muy alta	Media	Alta	
La Mutis	Arenisca	Superficial	Variable	Variable	Baja a media	Alta	Arcilloso, pedregosidad sobre y a través del perfil, baja retención de humedad, bajo contenido de MO
La Victoria	Gneiss muscovítico	Superficial a profundo	Baja	Baja	Alta a muy alta	Alta	

Continúa...

...continuación

Unidad de suelo	Material parental	Profundidad	Fertilidad natural	Fertilidad potencial	Pendiente	Susceptibilidad a la erosión	Observaciones
Lengupá	Lutitas	Superficial a profundo	Variable	Baja	Baja a alta	Moderada	Franco arcilloso, en ladera arcilloso con cascajo. Escaso contenido de MO
Líbano	Ceniza volcánica	Superficial a profundo	Baja	Baja	Media	Baja	
Llana Fría	Areniscas	Superficial a profundo	Media	Variable	Media	Moderada a alta	Alto contenido de MO. Pendiente muy alta en algunos sectores
Llano de Palmas	Areniscas	Superficial a profundo	Baja a media	Variable	Media a alta	Alta	Franco a arcilloso, pH entre 5,0 y 6,0. Contenido medio de materia orgánica
Malabar	Ceniza volcánica	Superficial a profundo	Variable	Baja	Baja a media	Moderada a alta	Presenta horizonte arcilloso que afecta el drenaje interno
Mayo	Toba andesítica	Superficial	Media	Media	Baja a alta	Alta	Bajo contenido de MO
Mendarco	Arenisca y arcillolitas	Superficial a profundo	Baja	Variable	Media a alta	Alta	
Miraflores	Areniscas de grano medio y ceniza volcánica	Superficial a media	Variable	Baja	Baja a muy alta	Alta	
Mondomo	Basalto	Media	Media	Alta	Media a alta	Alta	Algunos sectores con pendiente muy alta
Montenegro	Ceniza volcánica	Profundo	Baja a media	Baja	Baja a alta	Alta	
Mortiño	Basalto	Profundo	Media	Alta	Media a muy alta	Alta	
Norte	Granito feldespático	Superficial a media	Variable	Baja	Alta a muy alta	Alta	Arenoso, cascajoso. Bajo contenido de materia orgánica
Oriente	Granodiorita biotítica	Media a profundo	Variable	Media	Media a muy alta	Alta	Franco arcilloso, presenta pedregosidad
Paujil	Gneiss biotítico	Superficial a profundo	Baja	Media	Alta a muy alta	Alta	
Pensilvania	Esquistos	Superficial a profundo	Media	Variable	Alta a muy alta	Alta	Cascajoso, buena permeabilidad
Piendamó	Ceniza volcánica	Superficial a profundo	Baja	Baja	Media a alta	Moderada	Franco arcilloso
Pubenza	Ceniza volcánica	Superficial a profundo	Baja	Baja	Baja a media	Baja	
Puracé	Ceniza volcánica	Superficial a profundo	Baja a media	Baja	Baja a media	Moderada a alta	Franco arcilloso, presencia de alta pedregosidad a través del perfil
Quindío	Ceniza volcánica	Superficial a profundo	Baja a media	Baja	Baja a media	Alta	

Continúa...

...continuación

Unidad de suelo	Material parental	Profundidad	Fertilidad natural	Fertilidad potencial	Pendiente	Susceptibilidad a la erosión	Observaciones
Quiña	Esquisto muscovítico	Superficial	Media	Baja	Media a alta	Alta	
Río Manso	Esquistos	Superficial a profundo	Media	Variable	Alta a muy alta	Alta	Cascajoso, buena permeabilidad
Rionegro	Limolitas y arcillolitas	Media	Media	Variable	Baja a media	Alta	Arcilloso a arenoso
Ropero	Lutitas	Superficial a media	Baja a media	Baja	Media a muy alta	Alta	Cascajoso con pedregosidad sobre y a través del perfil. pH superior a 7,0. Poca retención de humedad, escasa MO
Saladoblanco	Toba volcánica	Superficial a profundo	Variable	Baja	Media a alta	Moderada	Limitante aptitud cafetera
Salgar	Pizarras	Superficial a profundo	Variable	Variable	Media	Moderada a alta	Cascajoso
Salinas	Cuarzodiorita	Media	Variable	Baja	Media	Alta	
San Agustín	Ceniza volcánica	Superficial a profundo	Baja	Baja	Media	Alta	pH de 5,0 a 5,5
San Simón	Granito biotítico	Superficial	Baja a media	Media	Media a alta	Alta	Cascajoso
Sandoná	Ceniza volcánica	Superficial a profundo	Baja	Baja	Baja a alta	Moderada	
Santa Cruz	Cuarzodiorita	Superficial a profundo	Baja		Alta a muy alta	Alta	Arenosos, con presencia de cascajo.
Sargento	Areniscas, arcillolitas y conglomerados	Superficial a profundo	Baja	Variable	Media a muy alta	Moderada a alta	Arcillosos, cascajosos, con presencia de pedregosidad sobre y a través del perfil. Muy baja presencia de MO. pH entre 6,0 y 7,0
Seguengue	Cuerpos sedimentarios	Media	Variable	Variable	Alta	Alta	
Siberia	Andesita Ortosica	Media	Variable	Media	Alta a muy alta	Alta	
Socorro	Ceniza volcánica	Profundo	Baja	Baja	Media	Baja a moderada	
Sucre	Ceniza volcánica	Superficial a profundo	Baja	Baja	Baja a alta	Baja	
Suroeste	Aglomerado	Media a profundo	Variable	Variable	Baja a alta	Alta	
Tablazo	Esquisto talcoso	Superficial a media	Variable	Alta	Alta a muy alta	Alta	Cascajoso
Tacueyó	Esquisto muscovítico	Superficial a media	Baja a alta	Baja	Alta	Alta	Franco arcilloso, cascajoso
Tambillo	Andesita	Superficial	Variable	Media a baja	Media	Alta	

Continúa...

...continuación

Unidad de suelo	Material parental	Profundidad	Fertilidad natural	Fertilidad potencial	Pendiente	Susceptibilidad a la erosión	Observaciones
Tambo	Ceniza volcánica	Superficial a profundo	Baja	Baja	Baja a alta	Moderada	
Tareas	Areniscas	Superficial a media	Media	Alta	Alta a muy alta	Alta	Cascajoso
Timbío	Ceniza volcánica	Superficial a profundo	Baja	Baja	Baja a media	Baja	Franco arenoso a franco arcilloso
Titiribí	Andesita horbléndica feldespática	Superficial a media	Variable	Media	Media	Modera	Cascajoso
Togüi	Limolitas	Superficial a media	Variable	Variable	Baja a muy alta	Alta	
Venecia	Areniscas y arcillolitas	Media	Variable	Variable	Media	Alta	
Vergel	Conglomerado	Superficial	Variable	Variable	Bajo a media	Alta	Baja capacidad de retención de humedad
Villapaz	Cuarzomonzonita	Superficial a profundo	Baja	Baja a media	Alta a muy alta	Alta	
Villeta	Lutitas calcareas	Superficial a profundo	Baja	Baja	Media a muy alta	Moderada a alta	Arcillosos con pedregosidad a través del perfil, muy baja presencia de MO, pH entre 6,0 y 7,0

Tabla 7.

Unidades de suelos más representativas en Colombia, por departamento.

Departamento	Municipios	Ecotopo	Unidad de suelo
Antioquia	Anzá (La Cejita, Gritar), Betulia, Concordia (parte), Bolívar, Hispania (parte) y Betania (parte)	102B	Salgar, Amagá, Chinchiná
	Concordia (parte) y Salgar (parte)	103B	Doscientos
	Betania (parte) y Andes (parte)	104B	Chinchiná, Doscientos
	Tarso, Hispania (parte), Jericó, Pueblo Rico, Tâmesis, Valparaíso, Caramanta, Andes (parte) y Jardín	105B	Suroeste, Doscientos, Chinchiná
	Valdivia (Parte), Toledo, San Andrés y Sabanalarga (veredas Meserengo, La Frisola)	201A	Amagá, Armenia, Chinchiná
	Heliconia, Armenia, Angelópolis y Titiribí	202A	Titiribí, Armenia, Amagá, Chinchiná
	Amagá, Venecia, Fredonia y Caldas (parte)	203A	Venecia, Amagá, Salinas, Chinchiná
	Retiro, La Ceja, La Unión, Montebello, Santa Bárbara, Abejorral y Sonsón (parte occidental)	204A	Tablazo, Chinchiná
	Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Medellín (parte), Itaguí, Envigado, La Estrella, San Antonio de Prado, Sabaneta y Caldas (parte)	203B	Chinchiná, Salinas
Cisneros (parte), Santo Domingo, San Roque, Caracolí, Concepción, Alejandría, Nare (La Magdalena), San Carlos y Marinilla	204B	El Peñol, Oriente	

Continúa...

...continuación

Departamento	Municipios	Ecotopo	Unidad de suelo
Caldas	Marmato, Supía, Riosucio y Anserma (sector norte)	106B	Doscientos, Chinchiná
	Anserma (sector sur), Risaralda, Viterbo y Belalcázar	107B	Chinchiná, Doscientos
	Aguadas, Pácora, Salamina, La Merced, Aranzazu y Filadelfia (parte)	204A	Tablazo, Chinchiná
	Filadelfia (sector de Samaria), Neira y Manizales (parte)	205A	Tablazo, Chinchiná, Tareas
	Manizales (parte), Chinchiná (parte) y Palestina	206A	Chinchiná, Doscientos
	Villamaría, Manizales (parte) y Chinchiná (parte sur oriental)	207A	Tablazo, Chuscal, Tareas, Chinchiná
	Victoria (parte), Marquetalia (parte), Marulanda y Manzanares	206B	Chinchiná, Fresno, Gualí, Pensilvania, Río Manso
Risaralda	Mistrató (San Antonio del Chamí) y Pueblo Rico	102A	Catarina
	Quinchía, Guática, Mistrató (parte oriental) y Belén de Umbría (sector norte)	106B	Doscientos, Chinchiná
	Belén de Umbría (sector sur), Risaralda, Apía (parte) y La Virginia	107B	Doscientos, Chinchiná
	Apía (parte), Santuario, La Celia y Balboa	108B	Chinchiná, Catarina, Doscientos, Balboa
	Marsella, Santa Rosa de Cabal (parte), Dosquebradas (parte) y Pereira (parte)	206A	Doscientos, Chinchiná
	Santa Rosa de Cabal (parte oriental alta) y Dosquebradas (parte oriental)	207A	Tablazo, Chuscal, Tareas, Chinchiná
	Pereira (parte)	209A	Chinchiná, Malabar
Valle del Cauca	El Cairo, Argelia, Versalles, El Dovio y partes de La Unión, Bolívar y Roldanillo	103A	Chinchiná, Fondesa, Catarina
	Darién y Yotoco (parte)	104A	Chinchiná, Doscientos
	Buenaventura, Restrepo, Vijes (parte), Dagua y La Cumbre	105A	Chinchiná, Dovio
	El Águila y Ansermanuevo	108B	Chinchiná, Catarina, Doscientos, Balboa
	Toro, partes de la Unión, Roldanillo y Bolívar	109B	Fondesa, Dovio
	Trujillo y Riofrío	110B	Chinchiná, Doscientos
	Yotoco (sector oriental), Vijes (sector oriental), Yumbo y Cali (sector norte)	111B	Dovio
	Cali (sector sur) y Jamundí	112B	Piendamó
	Ulloa y Alcalá	209A	Chinchiná, Malabar
	Caicedonia (parte) y Sevilla (sector Cumbarco)	211A	Tablazo, Cascarero, Génova, Chinchiná, Montenegro
	Cartago, Obando, La Victoria y Zarzal	212A	La Estrella
	Sevilla (parte) y Caicedonia (parte)	213A	Chinchiná, Doscientos
	Bugalagrande, Andalucía, Tuluá, San Pedro y Buga	214A	Doscientos
	Guacarí, Ginebra, El Cerrito, Palmira, Pradera, Candelaria y Florida	215A	Doscientos, Chinchiná, Monterredondo
Quindío	Salento, Armenia (parte) y Calarcá (parte)	208A	Chinchiná, Montenegro, Tablazo
	Finlandia, Circasia, Quimbaya, Montenegro, Armenia, (parte), Calarcá (parte), La Tebaida, Córdoba (parte) y Buenavista (parte)	210A	Chinchiná, Montenegro, Quindío, Malabar
	Calarcá (parte), Buenavista (parte), Córdoba (parte), Pijao y Génova	211A	Tablazo, Cascarero, Génova, Chinchiná, Montenegro

Continúa...

...continuación

Departamento	Municipios	Ecotopo	Unidad de suelo
Cauca	El Tambo (sector Huisitó) y Argelia	106A	Puracé, entre otras no definidas
	Buenos Aires (parte), Suárez, Morales (parte), Cajibío (parte) y El Tambo (parte)	112B	Piendamó y otras no definidas
	El Tambo (parte) y Balboa	113B	Doscientos, Balboa, Timbío
	Miranda, Puerto Tejada, Corinto y Padilla	215A	Doscientos, Chinchiná, Monterredondo
	Toribío y Jambaló	216A	Tacueyó, Piendamó
	Buenos Aires (parte), Caloto, Santander de Quilichao y Caldono (parte)	217A	Mondomo y otras no definidas
	Caldono (parte), Morales (parte), Piendamó, Cajibío (parte), Totoró, Popayán, El Tambo (parte) y Timbío (parte)	218A	Timbío, Piendamó, Pubenza, Cajibío
	Timbío (parte), Sotará, El Tambo (Quilcacé), Rosas, La Sierra, La Vega, Almaguer, Bolívar, San Sebastián y Mercaderes	219A	Tacueyó, Seguengue, Timbío, Sucre
Nariño	Páez (Belalcázar) y Inzá	213B	El Rosario, Socorro, San Simón, Saladoblanco
	Leiva (sector El Palmar), Cumbitara, Policarpa, Ricaurte y Piedrancha (Mallama)	106A	Puracé y otras no definidas
	El Bordo (Patía), Leiva (parte) y El Rosario	113B	Doscientos, Balboa, Timbío
	San Pablo, Génova, La Unión, La Cruz, Taminango, San José de Albán, San Lorenzo, Berruecos (Arboleda) y El Tablón, Buesaco	220A	Mayo, Quiña, Doña Juana
Tolima	Sotomayor (Los Andes), El Tambo, Linares, Samaniego, La Florida, Sandoná, Ancuya, Santa Cruz (Guachavez), Pasto, Consacá, Guaitarilla, Yacuanquer, Túquerres, Tangua, Imués, Funes y Iles	221A	Vergel, La Loma, Tambillo, Sandoná, Tambo
	Mariquita, Fresno, Palocabildo, Falan, Herveo, Casabianca, Villahermosa y Armero	206B	Chinchiná, Fresno, Gualí, Pensilvania, Río Manso
	Líbano (parte) y Lérida	207B	Líbano, Gualí
	Líbano (parte), Venadillo, Santa Isabel, Anzoátegui y Alvarado (parte)	208B	Líbano, Junín, San Simón, Colón
	Alvarado (parte), Ibagué, Cajamarca, Rovira, Valle de San Juan, San Luis, Roncesvalles, Ortega y San Antonio	209B	San Simón, Combeima
	Chaparral, Río Blanco (sector La Herrera), Ataco (sectores Berlín y Edén) y Planadas (sector Bilbao)	210B	San Simón
	Coyaima, Natagaima (alrededores de Montefrío), Ataco (parte) y Planadas (sector de Gaitania)	211B	San Simón y otras no definidas
	Icononzo (parte)	315A	Guadalupe, Guaduas y otras no definidas
Alpujarra (parte)	Melgar, Icononzo (parte), Carmen de Apicalá, Cunday, Villarrica, Purificación, Prado, Dolores y Alpujarra (extremo norte)	316A	Guadalupe, Mendarco
		317A	Guadalupe, La Espiga

Continúa...

...continuación

Departamento	Municipios	Ecotopo	Unidad de suelo
Huila	Aipe, Neiva (parte occidental), Santa María y Palermo	211B	San Simón y otras no definidas
	Teruel, Íquira, Nátaga y Tesalia	212B	San Simón
	Paicol, La Plata, Pital, Agrado, La Argentina, Tarqui, Oporapa y Saladoblanco	213B	El Rosario, Socorro, San Simón, Saladoblanco
	San José de Isnos (La Laguna)	214B	San Agustín, Isnos, Mortiño
	Colombia, Baraya, Tello, Neiva (parte), Rivera, Campoalegre, Hobo y Algeciras (parte)	317A	Guadalupe, La Espiga
	Algeciras (La Arcadia), Gigante, Garzón, Altamira, Guadalupe y Timaná	318A	San Agustín, La Espiga, Garzón, El Recreo
	Elías, Suaza, San Agustín, Pitalito, Acevedo, Palestina y San Adolfo	319A	El Recreo, Isnos, Siberia
Cundinamarca	Yacopí (parte), La Palma (parte), Caparrapí (parte) y Topaipí (parte)	309A	Llano de Palmas, Guadalupe, Ropero, Villeta
	Yacopí (parte), Paime, La Palma (parte), Topaipí (parte), Caparrapí (parte), San Cayetano, Villagómez, El Peñón (parte) y Pacho (parte)	310A	Villeta, Guadalupe, Chinchiná
	Vergara (parte), Supatá, La Vega (parte), San Francisco, Sasaima (parte), Villeta (parte) y Albán	311A	Villeta y otra sin definir
	La Palma (parte), El Peñón (parte), La Peña, Pacho (parte), Vergara (parte), Nimaima, Quebradanegra, Nocaima, Guaduas, Villeta (parte), La Vega (parte), Chaguaní (parte), Sasaima (parte), Vianí, Dituima (parte) y San Juan de Rioseco (parte)	312A	Villeta, Guadalupe
	Chaguaní (parte), San Juan de Rioseco (parte), Quipile (parte), Beltrán, Pulí, Jerusalén, Rafael Reyes (Apulo) y Tocaima (parte)	313A	Sargento, Villeta
	Guayabal de Síquima, Bituima (parte), Anolaima, Zipacón, Quipile (parte), Cachipay, Tena, La Mesa, San Antonio de Tena, El Colegio, Anapoima, Viotá, Tocaima (parte) y Nilo (Pueblo Nuevo)	314A	Guadalupe, Villeta, Chinchiná, Sargento
	Silvania, Fusagasugá, Tibacuy, Arbeláez, Pandí, San Bernardo, Venecia (Ospina Pérez) y Cabrera	315A	Guadalupe, Guaduas y otras no definidas
	Machetá, Tibirita, Manta, Gachetá, Junín, Gama, Ubalá (parte), Gachalá (parte), Choachí, Fômeque, Ubaque, Cáqueza, Quetame, Fosca y Guayabetal	307B	Guadalupe, Villeta
Boyacá	San Mateo, Chita y Jericó	304A	Ropero, Cincho y otras no definidas
	Santana, Chitaraque, San José de Pare, Togüi y Moniquirá	308A	Llano de Palmas, Miraflores, Togüi, Cincho, Ropero, Oiba
	La Victoria	309A	Llano de Palmas, Guadalupe, Ropero, Villeta
	San Pablo de Borbur, Tununguá, Briceño, Pauna, Maripí, Muzo, Otanche (parte), Buenavista, Yacopí (parte) y Coper	310A	Villeta, Guadalupe, Chinchiná
	Rondón, Zetaquirá, Berbeo, San Eduardo y Miraflores	306B	Lengupá, Miraflores, La Laja
	Pachavita, Chinavita, La Capilla, Garagoa, Tenza, Sutatenza, Guateque, Somondoco y Guayatá	307B	Guadalupe, Villeta

Continúa...

...continuación

Departamento	Municipios	Ecotopo	Unidad de suelo
Santander	California, Matanza, Rionegro (parte), Suratá, Charta, Bucaramanga, Floridablanca, Los Santos, Piedecuesta (parte) y Tona	302A	Santa Cruz, Villapaz, La Victoria, Cínera, Paujil
	El Playón (parte), Rionegro (occidental), Lebrija y Girón	303A	Rionegro, Llano de Palmas
	Piedecuesta (parte), Santa Bárbara (Umpalá), Guaca, San Andrés, Concepción, Carcasí, Málaga, Enciso, San José de Miranda, San Joaquín y Onzaga	304A	Ropero, Cincho
	Betulia (parte), Zapatoca (parte), Jordán, Aratoca, Barichara, Villanueva, Galán, Cutirí, Cabrera, San Gil, Palmar, Hato, Pinchote, Socorro, Valle San José, Simacota, Páramo (parte) y Palmas del Socorro	305A	Chanchón, Llano de Palmas, Cincho, Ropero
	Betulia (parte), Zapatoca (parte), San Vicente de Chucurí, Santa Helena (Opón) y La Paz	306A	Llana Fría, Cincho, Cantarranas
	Mogotes, Ocamote, Páramo (parte), Confines, Chima, Guapotá, Contratación, Charalá, Oiba, Coromoro, Guacamayo, Guadalupe, La Aguada, El Encino, San Benito, Suaita, Gámbita y Guepsa (parte)	307A	Llano de Palmas, Cincho, Ropero
	Chipatá, Guepsa (parte), Vélez, Guavatá, Barbosa, Puente Nacional, Sucre, Jesús María y Albania (parte)	308A	Llano de Palmas, Miraflores, Togüi, Cincho, Ropero, Oiba
	Landázuri, Bolívar, La Belleza, Florián y Albania (parte)	309A	Llano de Palmas, Guadalupe, Ropero, Villeta
Norte de Santander	Cáchira y Playón (parte)	302A	Santa Cruz, Villapaz, La Victoria, Cínera, Paujil
	Hacarí, Río de Oro, Ocaña, La Playa y Ábrego (parte)	301B	Norte, Cartagenita
	Tibú, Sardinata, Abrego (parte), Bucarasica, Lourdes, El Zulia, Villa Caro, Gramalote, Santiago, Salazar, Durania (parte), Bochalema (parte), Arboledas y Cucutilla	302B	Norte, Cínera, La Victoria, Cartagenita, La Laguna
	San Cayetano, Cúcuta, Villa del Rosario, Los Patios, Durania (parte), Chinácota, Bochalema (parte), Ragonvalia, Herrán y Pamplonita	303B	La Mutis, Cartagenita, La Laguna, Cínera, La Victoria
Cesar	González, Hacarí y Río de Oro	301B	Norte, Cartagenita
Chocó	El Carmen, San José del Palmar y Sipí	102A	Catarina y otras por definir

Desde el punto de vista de la profundidad efectiva, en la zona objeto de estudio, hay predominio de suelos con una **profundidad entre 10 y 30 cm**. En cuanto a la **fertilidad natural, ésta es baja**, particularmente en lo que respecta a los niveles de MO, P y K. Potencialmente, es poco el aporte de nutrientes desde el material parental.

Por último, la **pendiente del terreno** abarca inclinaciones superiores al 25% llegando a ser superior al 100%, la **susceptibilidad a la erosión es alta**, lo que quiere decir

que las pérdidas de suelos ante los incrementos en la precipitación son casi inmediatas. Desde el punto de vista de las observaciones, en general, se indica que esta unidad de suelos presenta pedregosidad a través del perfil, con drenaje interno deficiente, es decir, con mala circulación del agua.

Como conclusión puede decirse que en dichos suelos se recomienda tener la plantación bajo sombrero, con coberturas nobles, dada la alta susceptibilidad a la erosión hídrica.

Recomendaciones prácticas

- El suelo constituye un componente esencial de la productividad del café, aparte de ser un medio de anclaje, es una despensa desde la cual la planta adquiere el agua y los nutrientes minerales requeridos para su crecimiento y desarrollo.
- El suelo es un recurso natural cuyas características varían en el tiempo y en el espacio, en función del material parental, el clima y el manejo. Por esta razón es común encontrar diferentes unidades de suelo en el mismo departamento.
- Las unidades de suelo representan características similares a nivel regional (No detallado a nivel de finca) y es una herramienta para la planificación agrícola, en la que se incluyen planes de manejo para el establecimiento de los diferentes sistemas de producción cafeteros.

Literatura citada

- ARCILA P., J. Crecimiento y desarrollo de la planta de café. p. 21-60. En: ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.; MORENO B., A.M.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. *Sistemas de producción de café en Colombia*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2007. 309 p.
- ARCILA P., J. Factores que limitan el desarrollo de las raíces del cafeto. Chinchiná: CENICAFE, 1992. 8 p. (Avances Técnicos No. 176).
- GÓMEZ G., L.; CABALLERO R., A.; BALDIÓN R., J.V. *Ecotopos cafeteros de Colombia*. Bogotá : FNC, 1991. 131 p.
- CARDONA C., D.A.; SADEGHIAN K., S. Aporte de material orgánico y nutrientes en cafetales al sol y bajo sombrero de guamo. Chinchiná: CENICAFÉ, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 334).
- CORNELIUS, S.; HURLBUT, J.R. *Manual de mineralogía de DANA*. 2da. ed. Barcelona: Reverté, 1980. 653p.
- CORREA S., A. Pasado y futuro de los estudios de materia orgánica en Colombia. *Suelos ecuatoriales* 35(1):137-155. 2005.
- DIAZ M., C.; SADEGHIAN K., S.; MORALES L., C.S. Cambios químicos ocasionados por enclamiento y uso de lombrinaza en la etapa de almácigo del café. *Cenicafé* 59(4):295-309. 2008.
- DORRONSORO, C. *Introducción a la edafología*. [En línea]. Granada : Universidad de Granada, 2004. Disponible en internet: <http://www.edafología.ugr.es/introeda/tema00/progr.htm>. actualizado julio de 2005
- DUCHAFOUR, P.H. *Manual de edafología*. Barcelona: Toray-Masson, 1978. 493 p.
- FNC. Programa de desarrollo y diversificación de zonas cafeteras: Estudio de zonificación y uso potencial del suelo en la zona cafetera del departamento del Valle del Cauca. Bogotá : FEDERACAFÉ : PRODESARROLLO, 1990. 214 p.
- FERNÁNDEZ, C.; VEGA, L. *Microorganismos antagonistas para el control fitosanitario. Manejo integrado de plagas* (62):96-100. 2001.
- FLÓREZ, A. Relación altitudinal de la temperatura del suelo y del aire en los Andes centrales de Colombia. *Colombia geográfica* 12(2):5-39. 1986.
- GÓMEZ A., A.; GRISALES G., A.; SUÁREZ S., J. *Manual de conservación de suelos de ladera*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1975. 267 p.
- GONZÁLEZ O., H. El humus en la zona cafetera colombiana: Contenido calidad y su relación con algunas propiedades físicas y químicas del suelo. p. 11-32. En: SCCS. *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola*. Armenia : Sociedad colombiana de la ciencia del suelo : CENICAFÉ, 2009. 136 p.
- GONZÁLEZ O., H. Zona cafetera de Colombia una región con diversidad en su suelo. Chinchiná : CENICAFÉ, 2010. Seminario Marzo 26.
- GONZÁLEZ O., H. *Manejo integrado del recurso suelo*. Manizales : Universidad de Manizales, 2011. 83 p.
- GONZÁLEZ O., H. Fertilidad de los suelos cafeteros. En: CONGRESO Internacional del café (Abril 17-20 2012: El Salvador). Guatemala : DISAGRO, 2012. 41 diap.
- GONZÁLEZ O., H.; ZAPATA H., R.D.; SADEGHIAN K., S. Caracterización de los ácidos húmicos en suelos de la zona cafetera del departamento de Caldas. *Cenicafé* 60(1):25-40. 2009.
- GONZÁLEZ O., H.; SADEGHIAN K., S.; ZAPATA H., R.D. MEJÍA M., B. Fraccionamiento de la materia orgánica en suelos de la zona cafetera del departamento de Caldas. *Cenicafé* 59(4):310-320. 2008.
- GONZÁLEZ O., H. *Materia orgánica del suelo: Mitos y realidades*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2009. Seminario Agosto 28.
- GONZÁLEZ O., H. Caracterización de la materia orgánica en algunos suelos representativos de la zona cafetera del departamento de Caldas. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2008. 75p.
- GONZÁLEZ O., H.; SALAMANCA J. A. Unidades de suelo representativas de la zona cafetera colombiana. Melgar : Cumbre nacional de extensión e investigación, 2008. 25 p.
- HARDY, F. *Suelos tropicales: Pedología tropical con énfasis en América*. México : Herrero hermanos, 1970. 334 p.
- IGAC. *Suelos de Colombia: Origen, evolución, clasificación, distribución*. Santafé de Bogotá: IGAC, 1995. 632 p.
- JARAMILLO J., D.F. *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 2002. 619 p.
- JARAMILLO R., A. *Clima andino y el café en Colombia*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2005. 192 p.

- JENNY, H. *Factors of soil formation: A system of quantitative pedology*. Nueva York: McGraw-Hill, 1941. 281 p.
- KATIYAR, V.; GOEL, R. Solubilization of inorganic phosphate and plant growth promotion by cold tolerant mutant of *Pseudomonas fluorescens*. *Microbiol research* 158 (2):163-168. 2003.
- LEET L., D.; JUDSON. *Fundamentos de geología física*. México: Limusa, 1995. 455 p.
- LUTZOW, M.V.; KOGEL K., I.; ECKSCHMITT, K.; MATZNER, E.; GUGGENBERGER, G. Stabilization of organic matter in temperate soils: Mechanisms and their relevance under different soil conditions. *European journal of soil science* 57(4): 426-445. 2006.
- MACDONALD N., W.; ZAK D. R. PREGITZER, K. S. Temperature effect on kinetics microbial respiration and net nitrogen and sulfur mineralization. *Soil science society of America journal* 59 (1-2): 233-240. 1995.
- MARÍN, M. Técnicas modernas del estudio de la biología del suelo. *Suelos ecuatoriales* 35(1):66-69. 2005.
- MARÍN, V. E., P. FEJOO M. A. Efecto de la labranza sobre macro invertebrados del suelo en vertisoles de un área de Colombia. *Terra latinoamericana* 25(3):297-310. 2007.
- MCCULLEY R., L.; BURKE I., C. Microbial community composition across the great plains: Landscape versus regional variability. *Soil science of America journal*. 68(1):106-115. 2004.
- OSORIO V., N.W. Función de las enmiendas orgánicas en el manejo de la fertilidad del suelo. *Suelos ecuatoriales* 35(1):52-58. 2005.
- PHILLIP D., J.; TURKINGTON V., A.; MARION A., D. Weathering and vegetation effects in early stages of soil formation. *Catena* 72(1): 21-28. 2008
- REDDY, M.S. SURENDER, K.; BABITA, K.; REDDY, M.S. Biosolubilization of poorly soluble rock phosphates by *Aspergillus tubingensis* and *Aspergillus niger*. *Bioresource technology* 84(2):187-189. 2002.
- SADEGHIAN K., S. Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelos cultivados en café. *Cenicafé* 54(3):242-257. 2003.
- SADEGHIAN K., S. Efectos de la transformación de sistemas cafeteros en el departamento del Quindío. Armenia: Corporación Autónoma Regional del Quindío, 1998. 22 p.
- SOIL SURVEY STAFF. *Keys to soil taxonomy*. 9na. ed. Washington : Department of agriculture : USDA, 2003. 503 p.
- SYLVIA M., D.; FUHRMAN J., J.; HARTEL G., P.; ZUBERER A., D. *Principles and applications of soil microbiology*. New Jersey, Prentice Hall. 1999. 550 p.
- TARBUCK, E.J.; LUTGENS, F.K. *Earth science*. 9na. ed. Upper Saddle River : Prentice Hall, 1997. 671 p.
- VITERI, E.S.; ZARTA, D.; SALGADO, N. Algunos aspectos ecológicos de los hongos en la finca Palma de vino, La Dorada, Caldas, Colombia. *Suelos ecuatoriales* 30(2):197-203. 2000.
- WESTEN, C.J. VAN. Remote sensing and geographic information systems for geological hazard mitigation. *ITC Journal*, (4):393-399. 1993
- WILD, A. *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. EDITADO EN: Madrid (España), Ediciones Mundi-Prensa, 1992. 1045 p.
- ZAPATA H., R.D. *Química de los procesos pedogenéticos*. Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 2006. 358 p.
- ZECCH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMAN, J.; MIANO, T.; MILTNER, A.; SCHORTTH, G.; Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma* 79(1197):117-161. 1997.

Identificación de las principales Unidades de suelos de la zona cafetera

Hernán Gonzalez Osorio

El estudio de las **unidades de suelos de la zona cafetera colombiana** ha permitido a la Federación de Cafeteros de Colombia la planeación y el direccionamiento de estrategias conducentes a la **identificación del potencial y posibles limitaciones para el establecimiento y la producción del café**. También es pieza fundamental para que puedan brindarse a los caficultores **alertas tempranas** sobre las condiciones climáticas y la dinámica de patógenos, prácticas de conservación de suelos y, en general, recomendaciones a escala regional, en virtud a que combina dicha información con variables del clima y aspectos socio-económicos.

Este documento busca con base en los conceptos de la ciencia del suelo, los estudios de los Ecotopos Cafeteros, la experiencia de campo y algunas variables específicas determinadas en el laboratorio, brindar orientación para que los caficultores, extensionistas, investigadores y demás personas, logren identificar el suelo de su área de interés y dispongan de una herramienta para tomar decisiones cada vez más acertadas.

Cabe aclarar que la información consignada no pretende ir en contra vía de las consideraciones que en materia de clasificación del suelo un experto utilice según las claves mundialmente aceptadas ni sustituir un sistema de clasificación en particular. La información complementaria relacionada con la ubicación geográfica y Ecotopo correspondiente, fue obtenida de González y Salamanca (2008), Gómez *et al.* (1991) y los estudios regionales de zonificación y uso potencial de los suelos de la zona cafetera colombiana.



Concepto unidades de suelo

Como se mencionó en el capítulo “Suelos de la Zona Cafetera”, los suelos adquieren identidad a través de las características que presenten sus horizontes, es decir, de los aspectos que en materia de color, condiciones físicas, químicas y biológicas posean aquellas franjas que aparecen más o menos paralelas a la superficie del terreno y que en conjunto se reconocen como el perfil del suelo. El horizonte A es la parte más expuesta al sol, a la lluvia y a la acción de los grandes seres vivos, a continuación puede haber un horizonte muy diferente en apariencia y en color, conocido como horizonte B, o puede estar ubicado directamente sobre fragmentos de roca o cenizas volcánicas, que constituyen el horizonte C.

La amplia diversidad de climas, paisajes, rocas, minerales, fauna y flora de la zona cafetera del país ha permitido el desarrollo de una amplia gama de suelos, en los cuales han quedado grabados más de 200 años de cultura cafetera. La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia consciente de esta gran riqueza y biodiversidad emprendió estudios para su mejor entendimiento y agrupó zonas similares por sus características de clima, relieve y suelos, en las cuales las plantaciones de café tienen un comportamiento similar en crecimiento y producción, este estudio se conoce como “Ecotopos Cafeteros”, los cuales se encuentran distribuidos en siete grandes regiones de la zona cafetera: En cada una de las vertientes de las tres cordilleras y la Sierra Nevada de Santa Marta. La identificación de estas áreas comprende tres dígitos y una letra cuyo significado es el siguiente de acuerdo con Gómez *et al.* (1991).

El primer dígito identifica la cordillera, de esta forma le corresponde el No.1 a la cordillera Occidental, el No.2 a la Central y el No.3 a la cordillera Oriental. Los dos números siguientes indican en sentido Norte - Sur, la posición de la zona agroecológica o ecotopo; la letra final, identifica la vertiente occidental (A) y la vertiente oriental (B) de cada cordillera. Para el caso de la Sierra Nevada de Santa Marta no incluye letra y, en consecuencia, el primer dígito (No.4) identifica todo el sistema montañoso y los restantes indican los ecotopos del flanco occidental (01), oriental (02) y del norte (03).

Los Ecotopos Cafeteros contemplan también la delimitación e identificación de suelos con un perfil semejante y los asocian en lo que se conoce como unidades cartográficas de suelos. Dicha labor ha servido de herramienta para la planificación de la caficultura y la toma de decisiones en

lo que tiene que ver con el uso, manejo y conservación de este importante recurso natural.

Con el fin de facilitar la comprensión, los creadores de esta herramienta propusieron nombres regionales para ubicar en mapas cartográficos grupos de suelos con similitud en sus características, de acuerdo con las jerarquías de un sistema de clasificación específico (Álvarez, 1981; Grisales, 1977). Esto significa que pueden existir suelos con origen y condiciones muy parecidas en cuanto a las recomendaciones para el cultivo de café se refiere, pero designados de manera diferente, según el sitio donde se hayan descrito.

Para algunas zonas del país, el estudio de las unidades de suelos tiene asociada cartografía, que en muchos casos corresponde a la escala 1:100.000, con lo cual se estaría representando por cada milímetro en el mapa, 100 metros en la realidad. Esto indica que los límites definidos por la escala no deberían considerarse como absolutos, lo cual hace necesario complementar esta herramienta con unas claves sencillas, que en el campo permitan constatar la información que la cartografía ofrece.

El nivel de detalle que puede lograrse con este tipo de estudios muestra tendencias generales en los aspectos químicos de los suelos que presentan características morfológicas en común, lo cual indica que los valores mencionados no deben asumirse como criterio para recomendar planes de enmiendas y fertilización para el café. Es necesario entonces el análisis de suelos.

Unidades de suelos derivados de cenizas volcánicas

En un amplio sentido, los suelos derivados de cenizas volcánicas en el mundo los caracterizan por sus altos contenidos de materia orgánica, elevada fijación de fósforo (Poco fósforo aprovechable para los cultivos) y una especial resistencia a los procesos erosivos. Por esta razón, han recibido recomendaciones similares de manejo.

Pese a esta generalización, en la zona cafetera del país, este tipo de suelos que tiene un origen común (Cenizas volcánicas) y quizás una morfología del perfil casi similar, puede presentar diferentes atributos y limitaciones para los sistemas de producción de café, dándose así las siguientes unidades de suelo:

Unidad Chinchiná



Consideración práctica para la identificación

Los suelos de la unidad Chinchiná se reconocen porque en su perfil predominan dos o tres horizontes característicos. El primero u horizonte A es de color pardo rojizo oscuro, de textura al tacto franco arenosa, que alcanza en muchos lugares a tener más de 80 cm de espesor, especialmente en relieves de colinas y poco pendientes. Por debajo de éste se presenta una transición de aproximadamente 10 cm que comprende el horizonte AB, en el que se intercalan los colores de los horizontes A y B, el cual presenta un color amarillo, textura predominantemente arenosa, con una profundidad mayor de 200 cm.

En general, puede esperarse en este tipo de suelos alto contenido de materia orgánica (Mayores del 7%) y baja densidad aparente, aspectos que se traducen en adecuadas condiciones de tipo físico, mediante las cuales se espera que las raíces del café se desarrollen sin impedimento, se retenga humedad, aun en épocas de verano, así como un rápido drenaje en épocas lluviosas. Para los perfiles de esta unidad de suelos de la zona central cafetera, se evidencia una fijación de fósforo (P), prácticamente del 100% (González, 2012).

Localización. La Unidad Chinchiná está en los Ecotopos Cafeteros 103A, 104A, 105A, 105B, 106B, 107B, 110B, 201A, 203A, 204A, 205A, 206A, 208A, 209A, 211A, 213A, 206B y 310A, correspondientes a los siguientes departamentos y municipios:

Antioquia: Betania, Andes, Jardín, Caramanta, Jericó, Ebéjico, Medellín, Abejorral, Sonsón, Barbosa, Girardota, Copacabana, Itagüí, La Estrella, Caldas, Sabaneta

Boyacá: Tununga, Briceño, Pauna, Maripi, Muzo, Buenavista

Caldas: Anserma, Viterbo, Risaralda, Belalcázar, Aguadas, Pácora, Salamina, La Merced, Aranzazu, Filadelfia, Neira, Manizales, Chinchiná, Palestina, Victoria, Marquetalia, Marulanda

Cundinamarca: Yacopí, El Peñón, La Palma, San Cayetano, Pacho, Paime, Anolaima, Zipacón, Cachipay, El Colegio, Anapoima, Viotá, Tocaima, Nilo

Quindío: Salento, Calarcá, Armenia, Córdoba, Circasia, Quimbaya, Buenavista, Génova

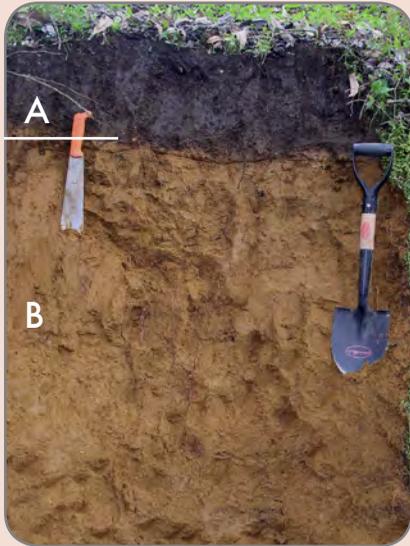
Risaralda: Quinchía, Guática, Mistrató, Belén de Umbría, La Virginia, Apía, Santuario, Balboa, Santa Rosa de Cabal, Dosquebradas, Pereira.

Tolima: Falan, Herveo, Casabianca, Villa Hermosa, Fresno

Valle: El Cairo, Argelia, Versalles, Bolívar, Roldanillo, El Dovio, Darién, Yotoco, Restrepo, Vijes, Dagua, La Cumbre, Anserma Nuevo, La Celia, Trujillo, Riofrío, Ulloa, Alcalá, Caicedonia, Sevilla

Unidad Timbío

Consideración práctica para la identificación



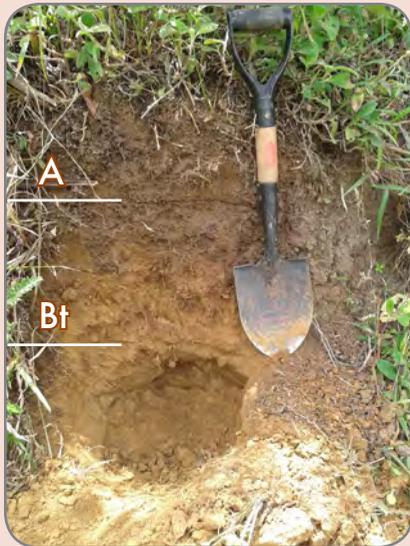
El horizonte A es de color pardo rojizo y de textura franco arcillosa, de apariencia granular gruesa. El horizonte B, que le sigue en profundidad, es arcillo arenoso, pardo muy oscuro, el cual presenta minerales negros denominados Moscovitas, que brindan un potencial de suministro de potasio al suelo y al café.

Desde el punto de vista químico, los niveles de materia orgánica superan en muchos casos el 15%, característica que puede estar asociada aparte del origen, con la variación estacional de la temperatura que se presenta en la meseta de Popayán, la cual para ciertas épocas del año tiende a ser muy baja. La capacidad de fijación de P es muy baja y puede asociarse con el menor grado de desarrollo que presenta, frente a otros suelos de su mismo origen.

Localización. En el Departamento del Cauca, en algunas zonas de los Ecotopos 218A y 219A, en los municipios de Caldono, Morales, Piendamó, Cajibío, Totoró, Popayán, El Tambo, Sotará, San Sebastián y Mercaderes.

Unidad Malabar

Consideración práctica para la identificación



Se considera originada a partir de cenizas, que por condiciones de clima muy cambiante son más evolucionadas. Su horizonte A es de textura arcillosa, con agregados que ejercen amplia presión al rompimiento, en tanto que el horizonte B presenta los agregados con moteados rojos y caras brillantes como consecuencia de la migración de arcillas desde el horizonte A.

La concentración de arcillas en el horizonte B puede representar cuarteamiento de las raíces del café en condiciones de sequía o por el contrario, como se evidencia en sectores de Caldas, manchas de color gris intercaladas con amarillo, que suponen problemas de infiltración. En conclusión, ofrece problemas para el cultivo en la medida que el horizonte B sea alcanzado por las raíces del mismo.

Localización. Puede detectarse en los departamentos y municipios cafeteros de los Ecotopos 209A y 210A.

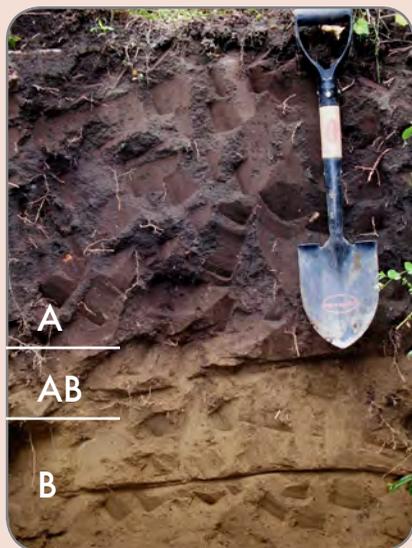
Quindío: Quimbaya, Montenegro, Buenavista

Risaralda: Pereira, La Virginia

Valle del Cauca: Alcalá, Ulloa

Caldas: Viterbo

Unidad Quindío



Consideración práctica para la identificación

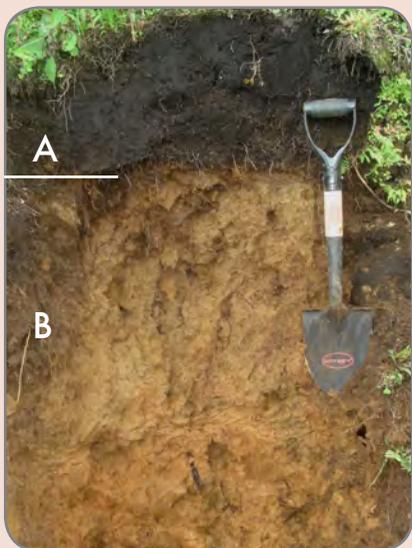
Exhibe un horizonte A pardo muy oscuro, que puede alcanzar 90 cm de espesor, con textura al tacto arenoso - franco. Los agregados tienden a deshacerse sin ejercer fuerte presión entre los dedos. El horizonte B es suelto y poco cohesivo, luego de éste aflora un nuevo horizonte B, con similares características descritas para su equivalente en la unidad Chinchiná.

Pese a su color, presenta niveles de materia orgánica que pueden estar por debajo del 8% y la fijación de P es del orden del 30% (González, 2012). Además, presenta minerales tipo micas, que brindan un potencial de suministro de potasio. Así mismo, su condición arenosa le imprime una alta conductividad de agua, lo que significa una rápida infiltración, que según se reporta es 70 veces mayor a la de la unidad Chinchiná (Arias *et al.*, 2009).

La particularidad que ofrece para la rápida infiltración, hace que el pH y el contenido de otros nutrientes, como el calcio y el magnesio, se reduzcan en cortos períodos de tiempo.

Localización. Los suelos de esta unidad están localizados principalmente en los municipios de Calarcá, Armenia, Circasia y La Tebaida. Ecotopo 210A.

Unidad Fresno



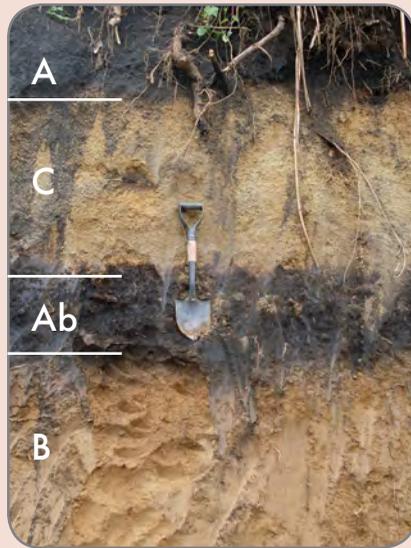
Consideración práctica para la identificación

Presenta un perfil similar en apariencia al de la unidad Chinchiná, salvo que para este caso, el horizonte A tiende a ser negro oscuro y de textura franco arenosa, el horizonte B pardo amarillo de textura arcillo-limosa, exhibe puntos o moteados grises, como consecuencia del exceso de humedad, que es gobernado por el régimen de lluvias de la zona. A continuación se presenta un horizonte B rojizo, de diferente origen y textura arcillosa, sobre el cual se generan lo que los expertos en erosión denominan “planos de falla” sobre los cuales a su vez, se presenta una superficie de deslizamiento de los primeros horizontes descritos.

Localización. Se encuentra en el departamento del Tolima en los municipios de Líbano, Lérica, Venadillo, Santa Isabel y Anzoátegui. Ecotopos 207B y 208B.

En el Ecotopo 206B de los municipios Fresno, Palocabildo, Falan, Herveo, Casbianca, Villa Hermosa y Armero, en Tolima, así como en Victoria, Marulanda, Manzanares y Marquetalia, en el departamento de Caldas.

Unidad Doña Juana



Localización. La unidad Doña Juana se encuentra ampliamente distribuida en Nariño en los municipios San Pablo, Génova, La Unión, La Cruz, Taminango, San José de Albán, San Lorenzo, Berruecos, El Tablón y Buesaco. Ecotopo 220A.

Consideración práctica para la identificación

Unidades de suelos Doña Juana y Letras son reconocidas por presentar en su perfil capas de lapilli (Pequeñas rocas arrojadas por el volcán, con un diámetro entre 2 y 64 mm) y horizontes A sepultados, intercalados entre sí. En algunos sectores en el perfil se detectan horizontes de transición entre A y B, o capas de ceniza y arena con límites abruptos o definidos.

Dado que el material lapilli se caracteriza por ser poco cohesivo, es un suelo de alta vulnerabilidad a la erosión.

La aproximación morfológica a la que se tiene alcance con la información que aquí se discute, permite definir características similares de identificación en el campo para ambos tipos de suelos.

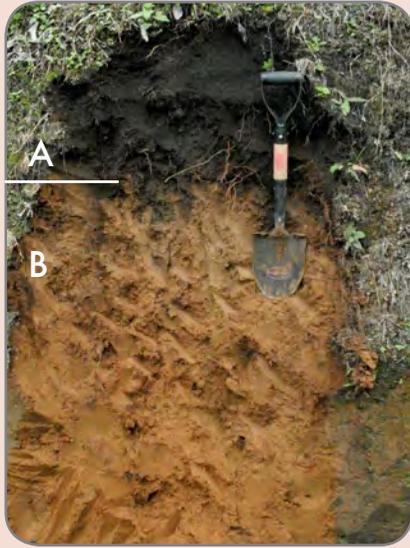
Particularmente para Doña Juana, que se presenta en zonas cafeteras de Nariño, la fijación de P es aproximadamente del 50%.

Unidad Letras



Localización. La unidad Letras se encuentra en los municipios de Manizales, Villamaría y Neira, del departamento de Caldas. Ecotopo 206A.

Unidad Líbano



Consideración práctica para la identificación

El horizonte A es negro, de espesor variable y textura franca. El horizonte B es pardo rojizo y de textura arcillosa.

Químicamente presenta bajo contenido de fósforo aprovechable y niveles de materia orgánica del orden del 18%, debido entre otras causas a las condiciones climáticas en donde se presenta. La magnitud en la fijación de P tiende a ser similar en Timbío (Cauca), puesto que alcanza valores inferiores del 20%.

Localización. En el departamento de Tolima, en los municipios de Líbano, Lérida, Venadillo, Santa Isabel y Anzoátegui, haciendo parte de los Ecotopos 207B y 208B.

Paisaje característico de cenizas volcánicas

En general, los depósitos de cenizas que han dado origen a los suelos descritos, suelen permanecer en relieves suaves y aquellos de colinas (Figura 1), en donde los horizontes son espesos.

En sitios de alta pendiente, por lo general, los suelos derivados de cenizas volcánicas se localizan en las partes altas de las vertientes (Puntos amarillos Figura 2), en donde el clima es templado y frío, sin desconocer que en las partes bajas puede haber algunos cubrimientos de cenizas, que por lo general tienden a ser delgados.

Una vez los mantos de ceniza volcánica se desgastan o erosionan, ceden el paso al aflojamiento de otro material litológico o rocas (Figura 3), cuyo origen ígneo, metamórfico o sedimentario, da lugar a la manifestación de suelos con características diferentes a las mencionadas anteriormente.



Figura 1.

Paisaje característico de suelos derivados de cenizas volcánicas.

Consideraciones prácticas

Con base en los atributos discutidos, particularmente en lo que a la profundidad del horizonte A y condiciones topográficas se refiere, en los suelos derivados de cenizas volcánicas es posible cultivar café a libre exposición solar, con prácticas de conservación de suelos.

**Figura 2.**

Sitios en alta pendiente donde es probable hallar suelos derivados de cenizas volcánicas.

**Figura 3.**

Desgaste de los mantos de ceniza que dan lugar a la manifestación de otro tipo de suelos.

Unidades de suelos derivados de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, con y sin recubrimientos de cenizas volcánicas

Los suelos que se describen a continuación, pueden o no tener recubrimientos de ceniza, que en muchos casos son suficientemente delgados como para que el

sistema de clasificación de suelos los incluya dentro del grupo de los andisoles o de suelos derivados de cenizas volcánicas. Adicionalmente, los ambientes en los cuales se desarrollan suelen ser cálidos y secos como consecuencia de los efectos discutidos en capítulo de suelos cafeteros, razón por la cual no desarrollan por lo general un horizonte orgánico de suficiente espesor, condición que sugiere la instalación de sombrío para que a través del aporte de material orgánico, logre consolidarse un horizonte A adecuado para el desarrollo del cultivo.

Las unidades de suelo dentro de este grupo son:

Unidad Doscientos



Consideración práctica para la identificación

Es un suelo cuyo horizonte A es de color pardo amarillo, de textura arcillosa, aspecto que le confiere una alta retención de humedad. El horizonte B es amarillo tendiente a rojo y en él pueden detectarse fragmentos de la roca de origen, la cual corresponde a un basalto de color gris o azul.

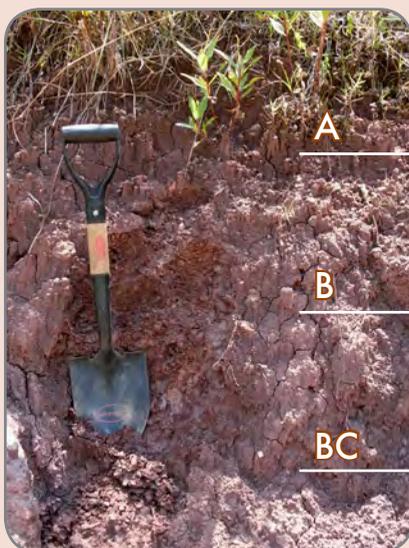
Dada la amplia distribución de este suelo en el país, sus características químicas son variables. Por ejemplo, en sectores del sur del Valle del Cauca presenta características de muy bajo pH y presencia de costras de bauxita (Mineral de aluminio), en algunas áreas cafeteras de Caldas, el contenido de Ca suele ser alto.

Con respecto al contenido de materia orgánica, en muchos casos la coloración que deriva la meteorización de la roca de origen, alcanza a teñir el tono pardo o negro del horizonte A orgánico, aspecto que sugiere, pese a su color, que los niveles de materia orgánica en general pueden ser altos (González *et al.*, 2009).

Localización. La Unidad 200 puede hallarse en los siguientes departamentos y municipios cafeteros dentro de los Ecotopos 101A, 101B, 104A, 102B, 104B, 107B, 108B, 113B, 206A, 213A, 215A, 218A.

En los municipios de Urrao, Santa Fe de Antioquia, Ebéjico, Concordia, Salgar, Betania y Andes en Antioquia; Anserma, Belalcázar, Palestina, Chinchiná, Risaralda, Riosucio y Viterbo en Caldas; Puerto Tejada, Padilla, El Bordo, Balboa, El Tambo y Popayán del Cauca; Quinchía, Guática, Belén de Umbría, Apía, Santuario, La Virginia, Pereira y Dosquebradas en Risaralda; así como El Cairo, Darién, Sevilla, Caicedonia, Pradera, Florida, Anserma Nuevo y Trujillo en el departamento del Valle.

Unidad Guamal



Consideración práctica para la identificación

Son suelos con un horizonte A de textura arcillosa al tacto y de color pardo rojizo oscuro. Debajo es éste se presenta un horizonte B violáceo, con alto contenido de arcillas.

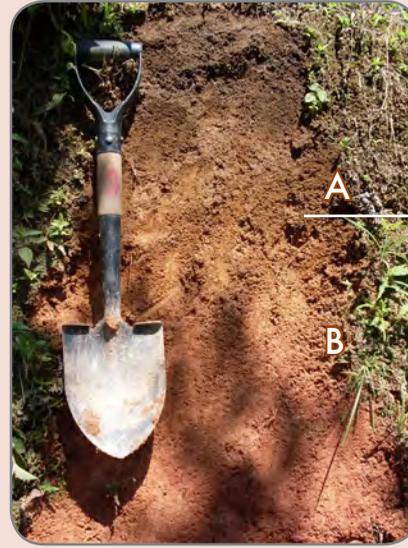
Desde el punto de vista químico, tienen altos contenidos de magnesio, posiblemente proveniente del material parental (Areniscas – roca sedimentaria). En algunos estudios sobre la materia orgánica en los suelos de la zona cafetera, se encontró que la coloración del horizonte orgánico tiende a ser enmascarada por las tonalidades del horizonte B. Esta situación se sustenta en el hecho de que son suelos que gozan de buen contenido de materia orgánica en general (González *et al.*, 2009).

Localización. En Supía y Riosucio, municipios de Caldas. Ecotopo 106B. Al parecer, es un suelo similar al denominado Unidad La Miel en el departamento de Antioquia.

Unidad Oriente



Unidad La Cabaña



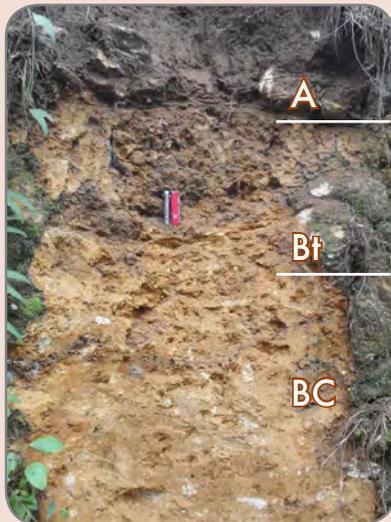
Consideración práctica para la identificación

Los suelos de la unidad Oriente pueden presentar recubrimientos delgados de ceniza. Se caracterizan por presentar un horizonte A de diferente espesor. El horizonte B es pardo amarillo, arcilloso, con presencia de micas blancas (Mineral con potasio) en su matriz, y un nuevo horizonte B rojizo que guarda menos cantidad de arcilla que el primero. Este último se aprecia sobre los primeros estados de meteorización de la roca de origen (Cuarzodiorita – roca ígnea).

El espesor de los tres primeros horizontes puede ser superior de 3 m.

En ambientes cafeteros del Tolima y sobre el mismo material parental, se desarrolla la unidad de suelos La Cabaña con niveles de materia orgánica inferiores, dado el rango altitudinal donde se manifiesta.

Localización: En el Ecotopo 204B, departamento de Antioquia, municipios Cisneros, Santo Domingo, San Roque, Caracolí, Concepción, Alejandría, San Rafael, San Vicente, Guatapé, El Peñol, San Carlos y Marinilla. En Caldas, municipio de La Victoria. En Tolima, municipios Fresno y Mariquita.



Unidad La Cristalina

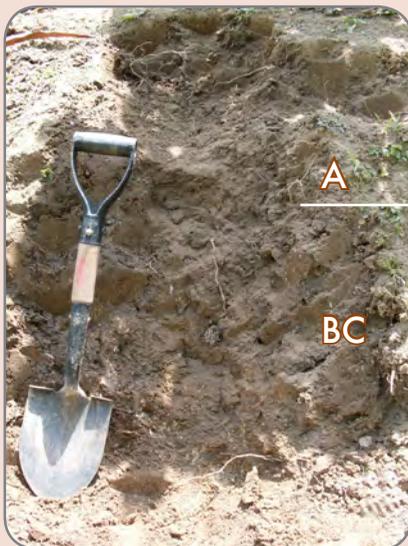
Consideración práctica para la identificación

Suelos de origen sedimentario cuyo horizonte A es de textura franco arcillosa. El horizonte B, que es de textura arcillosa al tacto, se encuentra mezclado con fragmentos de la roca original.

El elevado contenido de arcillas puede significar que ante un extenso período con carencia de humedad, las raíces del café puedan cuartearse, principalmente cuando éstas entran en contacto con el horizonte B.

Localización. En el departamento de Huila, municipio de Gigante. Ecotopo 318A.

Unidad San Simón



Consideración práctica para la identificación

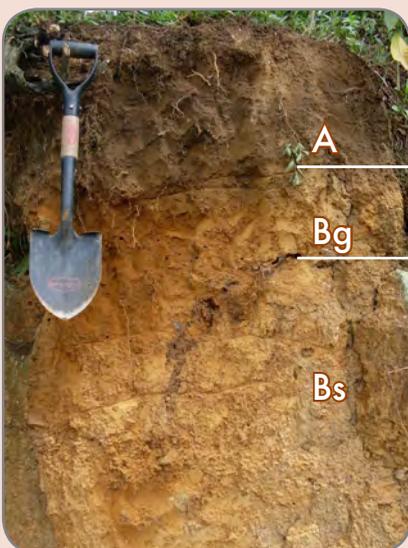
Suelos con un horizonte A de textura al tacto arcillo arenoso, de color pardo, que por lo general es de un espesor de 25 cm más o menos. El horizonte B posee mayor contenido de arenas respecto al primero, siendo característico el tamaño grueso de las mismas. Debajo de éste puede verse la roca de origen, la cual es un granito (Roca ígnea), con cristales blancos, grises y negros. Químicamente pueden hallarse micas, que representan reserva potencial de potasio en el perfil.

Localización. Se encuentra localizada principalmente en los departamentos de Huila y Tolima, haciendo parte de los Ecotopos 208B, 209B, 210B, 212B y 213B, en los siguientes municipios.

Huila: Neiva, Santa María, Palermo, Teruel, Iquira, Nátaga, Tesalia, Paicol, La Plata, Pital, El Agrado, La Argentina

Tolima: Líbano (parte), Venadillo, Santa Isabel, Anzoátegui, Alvarado (parte), Ibagué, Cajamarca, Rovira, San Luis, Roncesvalles, Ortega, San Antonio, Chaparral, Río Blanco, Ataco, Planadas

Unidad Llano Palmas



Consideración práctica para la identificación

Suelos cuyo horizonte A es pardo amarillo, de textura arcillo - limosa al tacto y espesor variable. El horizonte B es de color pardo gris oscuro, presenta abundantes cuarzos en su matriz y puede tener 70 cm de profundidad. A continuación se destacan dos horizontes B con fragmentos de la roca madre (Areniscas - roca sedimentaria), que tienen un diámetro superior de 5 cm. Las caras de los agregados en estos dos últimos, se presentan recubiertas por óxidos de hierro.

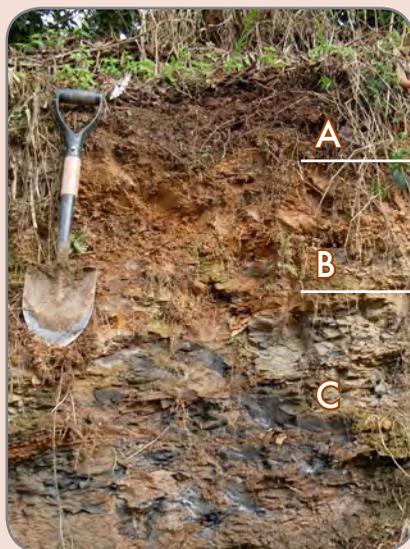
Localización. Se localiza en los Ecotopos 307A, 308A y 309A, y abarcan los siguientes departamentos y municipios:

Cundinamarca: Yacopí, Carrapí, Topaipí

Boyacá: Otanche, La Victoria

Santander: Rionegro, Lebrija, Charalá, Coromoro, Pinchote, Barbosa, Puente Nacional, El Socorro, Confines, Chima, Simacota, El Hato, Guadalupe, Guapotá, Palmas, Chipatá, Vélez, Albania, Landázuri, Bolívar, La Belleza, Florián

Unidad Ropero



Unidad Villeta



Consideración práctica para la identificación

Suelos que presentan un horizonte A de textura arcillosa, el cual reposa sobre un horizonte B arcilloso, pardo oscuro, con manchas grises. El material de origen corresponde a Lutitas, negro-grisáceas.

En vista de su origen sedimentario, en algunas regiones puede detectarse para estos suelos, reacción de tipo alcalino asociada con su misma génesis.

En sectores de Cundinamarca y Boyacá este suelo es conocido como Unidad Villeta.

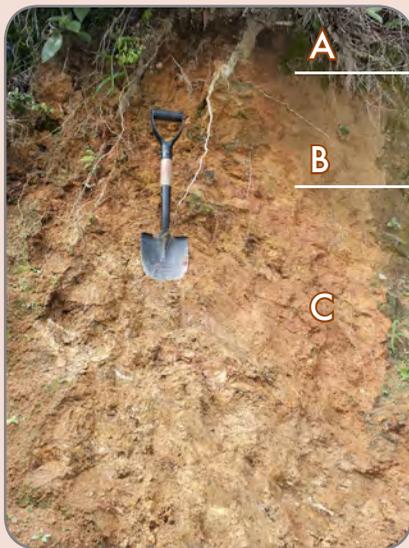
Localización. Ampliamente distribuidas en los Ecotopos 305A, 306A, 307A, 308A, 309A, 310A, 311A, 312A, 313A y 314A, en los departamentos y municipios de:

Santander: Vélez, Chipatá, Guavatá, Puente Nacional, Barbosa, San Vicente del Chucurí, Oiba, Guadalupe, Simacota, Chima, Guapotá, El Socorro, Charalá, Ocamonte, Coromoro, Encino, Valle de San José, Cincelada

Boyacá: Toguí, Moniquirá, Chitaraque, Santa Ana, San José de Pare, Otanche, La Victoria, San Pablo de Borbur, Tunungua, Briceño, Pauna, Miripí, Muzo, Buenavista

Cundinamarca: Yacopí, Paime, La Palma, Topaipí, El Peñón, Pacho, Villa Gómez, Supatá, La Vega, Villeta, Albán, Sasaima, Nimaima, Quebradanegra, Nocaima, Vergara, Tocaima, Veltrán, Pulí, Jerusalén, San Juan de Rioseco, Anolaima, Zipacón, El Colegio, Nilo

Unidad Tablazo



Consideración práctica para la identificación

Los suelos de esta unidad provienen de una roca metamórfica, la cual en su proceso de meteorización, pasa de negro a rocas de color amarillo rojizo. En adelante, se presenta el horizonte B, de características arcillosas, amarillo rojizo y un horizonte A que, por lo general, se encuentra cubierto por capas de ceniza de diferente espesor.

En este suelo es característica la presencia de roca suelta en todo su perfil.

Localización. La unidad Tablazo puede encontrarse en los siguientes municipios ubicados dentro de los Ecotopos 204A, 205A, 207A, 208A, 211A.

Caldas: Manizales, Neira, Filadelfia, Aranzazu, Salamina, Pácora, Aguadas, La Merced Chinchiná, Villamaría

Antioquia: Abejorral, El Retiro, La Ceja

Risaralda: Santa Rosa de Cabal, Dosquebradas

Quindío: Pijao, Salento, Armenia, Calarcá, Génova

Unidad Cascarero



Consideración práctica para la identificación

La morfología de los horizontes de los suelos de la unidad Cascarero es similar a la de los suelos de la Unidad Armenia, que se presentan en Antioquia.

Proviene de una roca metamórfica, de color verde claro, que desarrolla un horizonte B amarillo y que avanza en su meteorización a un horizonte pardo.

Se sitúan en áreas donde las condiciones de alta temperatura del clima no permiten el desarrollo de un horizonte A suficientemente profundo, aspecto que los hace altamente vulnerables a la erosión. En su horizonte A se destaca un alto contenido de calcio y magnesio provenientes del material parental.

Localización. Se encuentra en las siguientes localidades de la zona cafetera de Colombia ubicadas en los Ecotopos 204A, 205A, 206A, 211A.

Quindío: Calarcá, Buenavista, Córdoba, Pijao, Génova

Valle del Cauca: Caicedonia, Sevilla

Caldas: Salamina, Filadelfia, Neira, Manizales

Risaralda: Santa Rosa

Este suelo se halla en el Ecotopo 202A, en los municipios Heliconia, Armenia, Angelópolis y Titiribí, con el nombre de Unidad Armenia.

Unidad Catarina



Consideración práctica para la identificación

Es un suelo en cuyo horizonte A predominan arcillas, de color pardo amarillo oscuro, presenta también arenas gruesas, en aproximadamente el 20% de su matriz. Luego se distingue un horizonte AB, con un color entre el A y el B, rojo -amarillo, que a veces según el ambiente, puede adquirir tonalidades rojas, amarillas e incluso rosadas, en donde pueden detectarse fragmentos de rocas laminares, con un tamaño que a pesar de ser variable, pueden superar los 5 cm de diámetro. La disposición de estos fragmentos y del material parental (Esquisto biotítico - roca metamórfica), es casi paralela a la superficie del terreno, lo cual hace que estos suelos sean muy vulnerables a los movimientos masales.

En general, la fertilidad en cuanto a los contenidos de materia orgánica, fósforo y potasio son bajos, mientras que los altos contenidos de calcio y magnesio suelen aparecer con frecuencia en los reportes de los análisis químicos del suelo.

Localización. Ecotopos 102 y 103A, municipios El Carmen, Mistrató, Pueblo Rico, San José del Palmar y Sipí, en Risaralda y Chocó. También en El Cairo, Versalles, El Dovio, La Unión, Bolívar y Roldadillo, del Valle del Cauca. Ecotopos 108B de Risaralda y Valle del Cauca, y los municipios Apía, La Celia, Balboa, El Águila y Ansermanuevo.

Recomendaciones prácticas

- Dentro de los factores que influyen en la producción y calidad del café, las condiciones del suelo y del clima de una zona en particular son el punto de partida para definir el sistema de producción cafetera que debe desarrollarse como distancias de siembra, trazado y sombrío, entre otros factores. En este aspecto radica la importancia del conocimiento de las unidades de suelo de su región.
- El estudio de las unidades de suelos sumado a la cartografía disponible y algunas características claves, constituyen una herramienta para que caficultores, extensionistas e investigadores puedan tomar decisiones cada vez más acertadas en torno al manejo del cultivo del café.
- El nivel de detalle que puede lograrse con este tipo de estudios muestra tendencias generales en los aspectos químicos de los suelos que presentan características morfológicas en común, lo cual indica que los valores mencionados no deben asumirse como criterio para recomendar planes de enmiendas y fertilización para el café. **Es necesario entonces el análisis de suelos.**
- Los suelos de la zona cafetera del país no son exclusivamente derivados de cenizas volcánicas, y aun así dentro de este conjunto, existen diferencias que sugieren refinar las recomendaciones para su manejo y conservación.
- Otros suelos de la zona cafetera colombiana, con un origen diferente a las cenizas volcánicas, presentan atributos para sostener un sistema de producción de café. A nivel regional se han definido estrategias de manejo para establecer opciones de aprovechamiento racional.

Literatura citada

- *ÁLVAREZ J., O. J. Metodología para el levantamiento de suelos y zonificación de cultivos en la zona cafetera colombiana. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 11(1):1-36. 1981.*
- *ARIAS S., E.; SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; MORALES L., C.S. Lixiviación del nitrógeno en algunos suelos de la zona cafetera y su relación con la textura. Cenicafé 60(3): 239–252. 2009.*
- *GÓMEZ G., L.; CABALLERO R., A.; BALDIÓN R., J.V. Ecotopos cafeteros de Colombia. EDITADO EN: Bogotá (Colombia), FNC, 1991. 131p.*
- *GONZÁLEZ O. H. Opciones para el manejo eficiente de los fertilizantes: Actualidad y perspectivas. En: FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Informe anual de actividades- Cenicafé. 2012. p 28-29.*
- *GONZÁLEZ O. H.; ZAPATA H., R. D.; SADEGHIAN K. Caracterización de los ácidos húmicos en suelos de la zona cafetera del departamento de Caldas. Cenicafé (Colombia) 60(1): 25-40. 2009.*
- *GONZÁLEZ O., H.; SALAMANCA J. A. Unidades de suelo representativas de la zona cafetera colombiana. En: 3 Cumbre Nacional de Extensión e Investigación. “Innovación en la transferencia y comunicación con el caficultor. Melgar (Tolima). Marzo, 2008. 25p.*
- *GRISALES G., A. Suelos de la zona cafetera; clasificación y uso. EDITADO EN: Medellín (Colombia), Fondo Cultural Cafetero, 1977. 142 p.*

Conservación de suelos y aguas

Luis Fernando Salazar Gutiérrez; Édgar Hincapié Gómez

El Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé en la búsqueda de opciones que contribuyan a la sostenibilidad de la zona cafetera, ha investigado de manera continua desde 1945, los diferentes **procesos degradativos de los suelos** como son la **erosión hídrica y los movimientos en masa**, con el fin de generar tecnologías apropiadas que conduzcan a su **prevención y control**. La erosión del suelo se considera la mayor amenaza para su degradación y la del agua, y a su vez afecta negativamente la calidad y productividad del suelo, especialmente en zonas tropicales húmedas, susceptibles a procesos de degradación, como las regiones cafeteras de Colombia.

Por lo tanto, son objeto de estudio en este capítulo estos procesos degradativos de los suelos y los resultados de investigación acerca de los tratamientos de prevención y mitigación de la erosión y los movimientos en masa mediante prácticas de conservación de suelos y aguas, así como **tratamientos de restauración ecológica**, los cuales son ambiental, social y económicamente viables, para las condiciones de las regiones cafeteras.

Para que la conservación y buen manejo de los recursos naturales sean realmente efectivos, se requiere además de decisiones políticas e institucionales, de la gestión comunitaria y la educación para formar personas conscientes del valor que tienen los recursos suelo, agua y biodiversidad, para el presente y futuro, y del buen uso que se debe hacer de ellos, ya que la erosión es un problema natural y social.



Procesos de degradación de los suelos

Los movimientos en masa, avenidas torrenciales (Avalanchas) y la formación de cárcavas por la erosión avanzada de los suelos, son eventos recurrentes en la región cafetera de Colombia (Rivera y Sinisterra, 2002; Gómez y Alarcón, 1975) (Figura 1). En especial, las zonas de ladera colombiana están expuestas a amenazas naturales como los sismos, eventos volcánicos, procesos erosivos y movimientos en masa, entre otros. Estos fenómenos causan pérdidas económicas importantes por los daños a la infraestructura y áreas productivas, y amenazan el bienestar y la vida de las personas que habitan esta región y dependen del café como medio de sustento (Serna, 2009).

Es así, como en el período de 1970 a 1999, Colombia sufrió en promedio tres desastres naturales por año, al ocupar el tercer lugar en América Latina con más de 29 mil víctimas fatales, que causaron pérdidas del orden del 11,5% del PIB (Producto Interno Bruto) en 1995 (Sánchez *et al.*, 2006). En Colombia, entre 1999 y 2003, de alguna manera resultaron afectadas más de 533 mil personas por año debido a desastres naturales. De éstos, el 5% correspondieron a personas afectadas por avenidas torrenciales (Avalanchas) o deslizamientos. Solamente en el año 2003, más de 6 mil personas resultaron afectadas por deslizamientos (Sánchez, Ahmed y Awe, 2006).



Figura 1.

Amenazas por erosión y movimientos en masa.

El impacto generado por las temporadas de lluvia y el evento del Fenómeno de La Niña 2010 - 2011 fue de más de 3 millones de personas afectadas y 490 muertes (Sánchez, 2011). La atención de la emergencia, el proceso de reconstrucción y rehabilitación, y actividades de prevención y mitigación de la tragedia invernal costaron más de 28 billones de pesos (PNUD, 2011). Lo anterior, fue causado principalmente por la destrucción de bosques, con las consecuencias de erosión de suelos y sedimentación de cauces de ríos, lagunas y ciénagas, entre otros fenómenos. La erosión hídrica superficial es más silenciosa, pero es de gran importancia, dado que afecta la sostenibilidad y productividad de los cultivos (Gómez y Alarcón, 1975). Todo lo anterior permite llamar la atención sobre el uso, manejo y conservación de los suelos y el manejo de recursos naturales en las zonas de ladera de Colombia.

La erosión del suelo

La erosión natural es el **desgaste de la superficie del suelo** sin intervención del hombre y, por lo tanto, fuera de su control; es un proceso lento e imperceptible, que tiende a buscar una estabilidad de la superficie y un equilibrio entre el suelo, la vegetación, los animales y el agua. Por el contrario, la erosión antrópica es la erosión rápida del suelo, propiciada por el hombre al romper el equilibrio entre los suelos, la vegetación y el agua o el viento (Gómez y Alarcón, 1975).

Tipos de erosión

Dada la amplitud, complejidad y heterogeneidad ambiental de la zona cafetera colombiana, y debido a la escasa información del área afectada por la erosión, así como los registros e inventarios de los movimientos en masa y su clasificación, es difícil obtener una caracterización de los mismos en la región. Sin embargo, en términos generales, se pudiera afirmar que en la zona se presentan tipos de erosión como la **erosión laminar, concentrada en surcos**, la cual origina cárcavas, y tipos de movimientos en masa como **deslizamientos rotacionales, traslacionales y mixtos, flujos, derrumbes o caídas y avenidas torrenciales** (Suárez, 1998).

La degradación del suelo y el agua en zonas de ladera de Colombia, principalmente está relacionada con la erosión hídrica, la formación de cárcavas, los movimientos en masa o derrumbes y la contaminación. A continuación se presenta en detalle en qué consisten los tipos de erosión mencionados:

Erosión hídrica. Consiste en la pérdida paulatina de la capa superficial del suelo, debido a la acción de la lluvia (Figura 2).

La intensidad de esta clase de erosión depende de la combinación de factores como:

- La resistencia propia del suelo a dejarse erosionar (Erodabilidad o erosionabilidad)
- La capacidad erosiva de las lluvias (Erosividad)
- La longitud y el grado de inclinación de los terrenos
- La cobertura y las medidas de conservación o protección que tenga el suelo



Figura 2.

Suelos cafeteros afectados por erosión hídrica.

Este tipo de degradación reduce la calidad de los suelos (Vista como la pérdida de materia orgánica, nutrientes, condiciones físicas y biológicas) y afecta directamente la productividad de los cultivos.

Así mismo, existen varios tipos de erosión hídrica entre los cuales se encuentran:

Erosión laminar. Es la pérdida más o menos uniforme de la capa superficial del suelo, debido a la dispersión o arranque de los agregados de éste, por efecto del impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo y el posterior efecto de las aguas de esorrentía (Figura 3).

Erosión en surcos. Es la formación de pequeñas zanjas o canales debido a la concentración de aguas de esorrentía.



Figura 3.

Suelo cultivado con café afectado por erosión laminar.

Este tipo de erosión es común en suelos muy pendientes, removidos por labranza o desnudos, y con un horizonte superficial muy susceptible a la erosión, que se puede distinguir por su bajo contenido de materia orgánica y presencia de cascajo (Figura 4).

Erosión en cárcavas. Una cárcava es una zanja formada por la unión de pequeños surcos o canales, los cuales crecen y forman surcos mayores; éstos a su vez se profundizan y amplían hacia los lados hasta alcanzar secciones transversales de diferentes formas (Cárcavas remontantes) que se agrandan con la presencia de aguas de esorrentía (Rivera, 1998) (Figura 5).

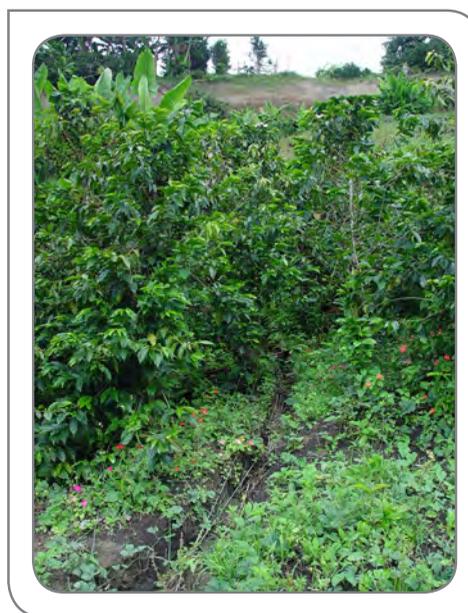


Figura 4.

Ejemplo de erosión en surcos en un cultivo de café.

Las cárcavas pueden afectar pequeñas áreas de suelo (< 0,2 ha) o grandes extensiones (> 2 ha); cuando este tipo de erosión crece tanto en profundidad como hacia los taludes laterales o cuando presenta erosión remontante, su control es más lento y costoso. Este tipo de erosión se torna más compleja al sumarle procesos de movimientos en masa en su estado avanzado de evolución.

Movimientos en masa

Corresponden al desplazamiento o rotación de porciones de suelo, roca o de ambos materiales, a lo largo y ancho de una pendiente (Cruden, 1991). Los más comunes son los deslizamientos, la caída de rocas, flujos (Roca, detritos, suelo, lodo), la reptación, entre otros (Suárez, 1998). Los deslizamientos son uno de los tipos de movimientos en masa más recurrentes en las regiones cafeteras colombianas (Figura 6), éstos se diferencian principalmente por la forma de su plano de falla.

A continuación se presenta la información de los diferentes tipos de movimientos en masa.

Deslizamiento planar. Es el movimiento de la masa a lo largo de una superficie de falla recta. Suelen ser deslizamientos superficiales, más largos que profundos. Se deben principalmente a la saturación de los primeros centímetros u horizontes de suelo, que ocurre después de precipitaciones de alta intensidad, frecuentemente por encima de los niveles históricos de lluvias (Figura 7).



Figura 5.

Ladera afectada por erosión en cárcavas en estado avanzado de evolución.

Deslizamiento rotacional. Movimiento de la masa a lo largo de una superficie de falla curva. Son movimientos más profundos que los planares, donde se afecta la masa de suelo hasta profundidades de decenas de metros. Se conocen como deslizamientos tipo “cuchara”, nombre que se asocia a la forma circular del plano de deslizamiento. Se deben principalmente a la circulación de aguas subsuperficiales o profundas como resultado de la alta cantidad de lluvia acumulada a través del tiempo (Figura 8).

Reptación. Movimiento subsuperficial, muy lento, sin una superficie de falla definida. Son movimientos que pueden cubrir una gran extensión, están condicionados por factores geológicos e hidrológicos, y acelerados por el hombre, cuando afecta el balance hidrológico o interviene las laderas (Figura 9).

Flujos. El material toma el comportamiento de un fluido y se desliza ladera abajo por saturación (Figura 10), el flujo puede ser desde lento hasta muy rápido. Cuando se acumulan varios flujos y movimientos en masa en una microcuenca o una ladera se producen flujos muy rápidos denominados **avenidas torrenciales** o “avalanchas” (Figura 11).

La **erosión superficial y el movimiento en masa**, siendo ambos procesos de desgaste de la superficie terrestre, se diferencian principalmente en los agentes de transporte y los volúmenes de suelo transportados (Gray y Sotir, 1996). Mientras que en la erosión superficial, el suelo es lavado superficialmente y los sedimentos son transportados por el agua y el viento, en los movimientos en masa el agente principal es la gravedad, e involucra el movimiento de volúmenes mayores de sedimentos (Gray y Sotir, 1996).



Figura 6.

Cultivo de café afectado por movimientos en masa.



Figura 7.

Ladera afectada por un deslizamiento planar.



Figura 8.

Cultivo de café afectado por un deslizamiento rotacional.



Figura 9.

Terreno afectado por un movimiento en masa tipo reptación.



Figura 10.

Laderas afectadas por movimientos en masa tipo flujos.



Figura 11.

Evidencia de avenidas torrenciales, en un drenaje natural.

Causas de degradación del suelo y el agua

Entre las causas que originan la erosión se encuentran los **factores antrópicos**, es decir, aquellos acelerados por el ser humano, y los factores naturales.

En muchos casos el problema de la erosión tiende a ser ignorado por los agricultores, ya que sus efectos sobre el suelo y la producción de los cultivos pueden ser ocultados por prácticas como el uso de variedades mejoradas altamente productivas, adición de fertilizantes, empleo de pesticidas, entre otras; pero a su vez cuando estas prácticas se hacen sin las condiciones técnicas originan problemas adicionales como incremento de la erosión, contaminación de suelos y aguas y contribución a la degradación de hábitats naturales.

Amenazas de degradación del recurso agua

En las regiones cafeteras de Colombia, donde predominan los suelos de ladera, los patrones de asentamiento humanos y los procesos de cambios en el uso del suelo y en las coberturas afectan la calidad del agua y de los suelos, en consecuencia, el comportamiento del ciclo hidrológico en las cuencas; en este sentido, los suelos juegan un papel hidrológico determinante en la distribución del agua, como componente que permite la recarga de acuíferos, condicionando la disponibilidad de agua para el hombre

y la vegetación, y de forma indirecta el caudal de los ríos (Hincapié, 2011).

En la cuenca o subcuenca cafetera, actualmente se presenta la alta degradación de las laderas, debido a problemas de erosión hídrica, lo que ha ocasionado frecuentes desastres por deslizamientos de grandes masas de suelo y roca, pérdida de áreas productivas en fincas y carreteras, daños en acueductos y obras civiles, inundaciones y sedimentación de embalses, entre otros.

El agua que fluye por la superficie del suelo hasta los drenajes naturales o masas de agua en la superficie se conoce como **escurrimiento superficial**; el agua que fluye por los drenajes naturales (Quebradas, cañadas) y los ríos hasta aquellos de mayor tamaño, y luego hacia los océanos, se conoce como **escurrimiento fluvial**, y el agua contenida en el sistema poroso del suelo como **agua del suelo**.

Las amenazas más comunes que enfrenta el recurso agua están relacionadas con los cambios en los patrones estacionales de los escurrimientos superficiales y fluviales por efectos de la falta de regulación, esto debido a la deforestación y a la pérdida o reducción de la retención de agua en el suelo. Los cambios pueden originar inundaciones en temporadas lluviosas y disminución de los niveles de agua en ríos y quebradas, durante las temporadas secas. La contaminación de fuentes hídricas está dada por:

Consideraciones prácticas

La degradación de los recursos suelo y el agua es en gran medida el resultado del uso inadecuado de los suelos y de las malas prácticas de manejo que algunos agricultores aplican en los sistemas de producción, entre las que se encuentran:

- X Quemaz:** Aceleran la erosión hídrica y afectan negativamente la vida del suelo
- X Eliminación total de las coberturas arbóreas:** Incrementa la erosión hídrica y la susceptibilidad a movimientos en masa
- X Laboreo excesivo del suelo:** Destruye la estructura del suelo y lo hace más susceptible a la erosión hídrica
- X Cultivos limpios por el uso generalizado de herbicidas:** Acelera la erosión y degradación física y biológica del suelo
- X Sobrepastoreo:** Compacta el suelo, reduce la infiltración y favorece la erosión avanzada de los suelos
- X Manejo inadecuado de las aguas:** Causan erosión avanzada, movimientos en masa y deterioro de las fuentes hídricas
- X Desprotección de los cauces de las corrientes de agua y vías:** Reduce la disponibilidad de agua y aumenta el riesgo de erosión y movimientos en masa

- La descarga directa a las quebradas, fuentes de agua o los drenajes naturales, de las aguas servidas, residuales o aguas con desechos orgánicos provenientes de actividades pecuarias como líquidos cloacales, residuos fecales de cerdos y vacunos, entre otros.
- La contaminación de aguas superficiales y corrientes de agua con residuos de agroquímicos, fertilizantes de origen químico y orgánico, aceites, grasas o derivados del petróleo.
- El depósito de la pulpa del café y de las aguas provenientes del proceso de beneficio, directamente a las quebradas sin ningún tratamiento.
- Los sedimentos de suelo erosionado que son arrastrados por las aguas de escorrentía hasta las fuentes de agua.
- Reducción progresiva de la resistencia del suelo y las rocas, o meteorización
- Dinámica de aguas subterráneas, o afloramiento natural de aguas en taludes
- Movimientos telúricos y las fallas geológicas
- Susceptibilidad del suelo (Propiedades físicas, mecánicas y químicas)
- Características del perfil del suelo (Cambios fuertes en la permeabilidad del suelo a través del perfil)
- Las características de la pendiente (Grado y longitud), lo que favorece la acción de la gravedad
- El clima, como es el caso de la precipitación (Intensidad, cantidad, frecuencia)
- Fluctuación del nivel freático (Agua subterránea o subsuperficial)

Si bien los procesos de degradación que amenazan los recursos suelos y agua pueden ocurrir bajo condiciones naturales, en gran medida son acelerados por el hombre, cuando hace un manejo inadecuado del suelo, agua y vegetación, lo cual puede obedecer a diferentes causas de orden tecnológico, económico, socio-cultural, ético, legal y político.

Causas de los movimientos en masa

A pesar del amplio número de casos de inestabilidad natural de las laderas, la aparición de estos problemas se intensifica por la acción del ser humano. Los movimientos en masa y problemas de erosión avanzada en zonas de ladera tropical andina, se presentan debido a la interacción de diversos factores, los cuales se pueden clasificar como naturales y antrópicos.

Los factores naturales son:

- Debilidad del material de origen del suelo, o rocas inestables

Los factores antrópicos son aquellos acelerados por el ser humano, éstos son:

- La deforestación y desprotección de los drenajes naturales permanentes como las cañadas, o esporádicos, que sólo aparecen en épocas de lluvias
- Conflicto en el uso del suelo, es decir, cultivos o explotaciones no acordes con su uso potencial
- Prácticas agrícolas inadecuadas como los cultivos totalmente descubiertos (Suelo libre de arvenses u hojarasca)
- Intervención de las laderas (Cortes o excavaciones) para la construcción de viviendas, carreteras o caminos
- Manejo inadecuado de las aguas de escorrentía
- Manejo inadecuado de residuos sólidos que limitan la circulación adecuada del agua
- Intervención de drenajes naturales

Consideraciones prácticas

Las condiciones topográficas, geológicas, climáticas y de suelo de la zona cafetera colombiana hacen que los procesos de degradación se presenten en casi todos los períodos lluviosos, por lo tanto, se debe fomentar la implementación de programas institucionales de manera permanente, que permitan la adopción de prácticas y medidas de prevención, teniendo en cuenta que una vez ocurridos los problemas de degradación, el control de los procesos y la recuperación de las áreas afectadas, son lentos y a un costo relativamente alto.

Para contribuir al entendimiento y mitigación de los deslizamientos o movimientos en masa, Cenicafé ha buscado conocer las **causas antrópicas de los movimientos en masa en las empresas cafeteras**, así como determinar el aporte de la vegetación en la estabilidad de laderas y aplicar tratamientos biotécnicos para el control y la mitigación de los movimientos en masa.

Mediante la metodología de la matriz de causalidad simple, de causa - efecto, se tuvieron en cuenta los diagnósticos realizados por Cenicafé entre 1996 a 2004, en 31 sitios distribuidos en 15 municipios cafeteros de Colombia, en los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca, principalmente en suelos cultivados con café (Salazar e Hincapié, 2006).

En todos los casos estudiados existieron varias causas al mismo tiempo, las cuales no fueron excluyentes para cada sitio. Al realizar una agrupación general de las causas encontradas, con mayor frecuencia se presentó la desprotección de los drenajes naturales (58%), fallas en obras de infraestructura (52%), manejo inapropiado del suelo (45%), conflicto en el uso del suelo (39%) y otras causas (6%) (Salazar e Hincapié, 2006), como se ilustra en la Figura 12.

Desprotección de drenajes naturales. Se refiere a la expansión de la frontera agrícola hasta los nacimientos y corrientes de agua, lo cual promueve los movimientos en masa y los casos de cárcavas remontantes, debido a que en períodos de lluvias intensas se presentan crecientes de estas corrientes, para las cuales el cultivo no cumple la función de disipación de su energía, causándose socavamiento

del fondo de los cauces y la desestabilización de las bases de las laderas. Otra forma de intervención de los drenajes naturales es la extracción de materiales como arena, grava o rocas sin las adecuadas especificaciones técnicas.

Falencias o ausencia de obras de infraestructura. La falla o ausencia de obras de infraestructura generalmente provoca saturación del terreno o concentración de volúmenes altos de agua por un solo sitio. Cuando el agua causa saturación, se convierte en una carga, presión o esfuerzo adicional aplicado a la masa de suelo, ocasionando su movimiento, en tanto que el flujo de agua concentrado por un solo sitio, sin disipación de su energía o velocidad, causa socavamientos y arrastre de sedimentos que conllevan a la formación de cárcavas.

- *Desequilibrios causados por las vías o carreteras.* Actualmente la construcción de vías afecta las vertientes, al abrir taludes, modificar la geodinámica externa y al crear fuentes de desequilibrio, sin tener en cuenta los estudios morfodinámicos para el diseño de las vías.

- *Construcciones inadecuadas, donde se ignora la necesidad de estudios previos.* La construcción de carreteras y caminos en zonas de ladera obedece más a la ampliación de los caminos antiguos que a un trazado con base en mínimos estudios topográficos. El trazado y construcción de caminos veredales y dentro de las fincas en las zonas de ladera, debe ser bien estudiado y planificado, ya que con estas construcciones se altera el comportamiento hidrológico tanto de las laderas como de las quebradas y drenajes naturales, ya que un camino o carretera se convierte en zona de captación, que no permite



Figura 12.

Frecuencia (%) de las causas de movimientos en masa y erosión avanzada.

infiltración de agua, y por el contrario, las concentra en los bordes de las vías, lo cual puede conducir a la formación de surcos, cárcavas y deslizamientos, ya sea en la misma carretera o aguas abajo. La construcción de carreteras o caminos en las laderas también desestabiliza los taludes por la remoción del soporte en la base y el incremento de la pendiente.

Manejo inapropiado del suelo. En este caso, el análisis se asocia al manejo inapropiado del suelo, principalmente a la desyerba en forma generalizada con herbicidas o azadón, además la desprotección del suelo y taludes, al eliminar totalmente las coberturas e incrementar los niveles de erosión superficial y de escorrentía, lo cual causa su desestabilización.

Uso inadecuado del suelo. Estos problemas se asocian al conflicto entre el uso actual del suelo y su uso potencial, y en especial se refiere a la deforestación; así como a la presencia de cultivos en sitios donde su uso potencial debería ser bajo sistemas agroforestales o bosque de protección, los cuales brindan mayor protección a los suelos contra los deslizamientos. El tipo de sistema de cultivo y su localización son factores que influyen en la estabilidad de las laderas; los cultivos ofrecen poco incremento de la cohesión del suelo en lo profundo del perfil, como es el caso del café a libre exposición solar.

Otras causas antrópicas. Se encuentra en forma recurrente el depósito de residuos sólidos en las laderas lo cual ocasiona la saturación del terreno y no permite el adecuado establecimiento de la vegetación. Los residuos sólidos también son un agente de obstrucción de las obras de conducción de agua. Entre otras causas se registra la elaboración de rellenos o terrazas sin las debidas especificaciones técnicas en zonas de ladera.

La variación climática y los movimientos en masa

En Colombia, en especial durante los eventos del fenómeno de La Niña se tienen importantes incrementos en la incidencia de movimientos en masa. Durante la fase fría del océano Pacífico, denominada La Niña, existe una alta probabilidad del aumento en los volúmenes de precipitación por encima de los niveles históricos normales en la zona Andina y Caribe de Colombia (Jaramillo y Arcila, 2009; IDEAM, 2010).

Los movimientos en masa y avalanchas ocurridos en Colombia, durante el Fenómeno La Niña, entre los años 1998 a 2000, se relacionaron principalmente con las lluvias intensas y persistentes, que causaron

la saturación de los suelos localizados en las áreas de ladera potencialmente inestables. Según Sánchez et al. (2001), el 89% de los movimientos en masa fue del tipo deslizamiento y caídas de materiales, 10% por avenidas torrenciales y el 1% por hundimientos. Sánchez et al. (2001) registraron una diferencia notable en el número total de deslizamientos reportados durante un evento cálido del Pacífico, denominado Fenómeno de El Niño, respecto a los reportados en un evento frío, La Niña; es así como en el evento de La Niña de 1998 – 2000, el total de deslizamientos registrados en la región andina Colombiana superó los 615, en tanto que en el evento El Niño de 1997-1998, se registraron 51 de deslizamientos.

En el período de La Niña, en los meses que normalmente son de menor precipitación (Enero, febrero, julio y agosto), aumenta la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa. Mientras que en los meses históricamente más lluviosos (Abril - mayo y octubre - noviembre), sumado a la presencia de La Niña, se aumenta el riesgo de crecientes súbitas de los cauces hídricos, así como avalanchas, deslizamientos y mayor pérdida de los suelos por erosión (IDEAM, 2010). Es así como en el fenómeno de La Niña de 1998 – 2000, los meses de noviembre y diciembre fueron los de mayor número de deslizamientos registrados, debido al efecto de las lluvias acumuladas y lluvias intensas, mientras que septiembre fue el mes con menor ocurrencia de movimientos en masa.

El estado inicial de un talud, después de un período de sequía prolongada y con grietas, producto del secado y humedecimiento, permite que las primeras lluvias favorezcan la saturación de la base del talud y de los horizontes más superficiales y no contribuye a la saturación inmediata del subsuelo. Lo cual tendría implicaciones directas en los mecanismos de falla. El agrietamiento del suelo debido a los procesos de secado y humedecimiento puede tener impacto en la estabilidad del mismo, dado que se ha demostrado la pérdida más rápida de la resistencia al deslizamiento al inicio de las lluvias, después de un período de sequía y al estar el suelo afectado por grietas de expansión (Salazar, 2011).

Prevención de la erosión del suelo

Conservar el suelo y el agua trasciende más allá de los trabajos para el control de la erosión. **La conservación de suelos y aguas** consiste en la aplicación de un conjunto de **técnicas y prácticas** que contribuyen a evitar la degradación de estos dos recursos naturales y mantener o mejorar la productividad agrícola; por lo tanto, deben estar inmersas en:

- Los **sistemas de producción de las explotaciones agrícolas o pecuarias**. Consiste en adoptar ciertas condiciones para que el suelo no sea afectado negativamente ante las amenazas de degradación.
- Los **programas institucionales, basados en los principios de protección y mejoramiento**. Es el proceso que se lleva a cabo para modificar ciertas características del suelo, con el propósito de aumentar su rendimiento o productividad y buscar la resistencia del efecto de agentes bióticos y abióticos adversos.

Premisas que justifican la adopción de prácticas de conservación de suelos y aguas

Con la adopción de las prácticas de conservación de suelos y aguas se previene, reduce o elimina la erosión hídrica y se mantiene o aumenta la fertilidad del suelo y, con ello, la producción de los cultivos. Así mismo, algunas prácticas de conservación de suelos y un adecuado manejo de aguas, ayudan a prevenir los deslizamientos o movimientos en masa.

El primer paso para establecer estrategias de conservación de suelos y aguas, con el fin de buscar la sostenibilidad de la caficultura está en la **sensibilización, motivación y educación de la comunidad** como actor esencial en la conservación, recuperación, protección y preservación de los recursos naturales.

Una buena forma de sensibilización consiste en observar situaciones reales que demuestran cómo influye la erosión en la producción de café. En la Figura 13 se observa que la producción de café, en parcelas con erosión severa, se redujo en promedio el 60%, al compararla con la obtenida en parcelas con erosión leve, y 54% comparada con la producción registrada en parcelas con erosión moderada; el cultivo contó con fertilización según el análisis de suelos y manejo integrado de arvenses (Hincapié y Salazar, 2012).

En este sentido, **la erosión genera sobrecostos** al incrementarse la necesidad de aplicar más fertilizante debido a la pérdida de nutrientes. Es así, como en un suelo con mayor contenido de materia orgánica (12% al 16%) se requiere aplicar $40 \text{ kg.ha.año}^{-1}$ menos de nitrógeno que un suelo con un contenido de materia orgánica menor (Menor o igual al 8%) (Sadeghian, 2008) lo anterior sin tener en cuenta el resto de nutrientes que se pierden por acción de la erosión hídrica.

Sin embargo, ante lo anterior, es grato observar cómo en las zonas cafeteras una gran proporción de cafeteros

implementan las prácticas de conservación de suelos y aguas (Serna, 2009), dado que las áreas degradadas tienen un mayor impacto visual que aquellas que se encuentran protegidas, bien manejadas o sin problemas de erosión.

Aquellos cafeteros que actualmente adoptan prácticas de conservación de suelos y aguas en sus sistemas productivos de café se deben exaltar, promover, motivar y vincular como protagonistas centrales en la difusión de las mismas, y lograr que por medio de éstas puedan obtener un valor agregado por su producto como **fincas piloto en la conservación de suelos y aguas**.

El objetivo de las prácticas de conservación de suelos y aguas es el de disminuir o anular los factores causales de la erosión y movimientos en masa (FNC, 1979). Las prácticas de conservación de suelos y aguas en los sistemas productivos de café se deben enfocar, principalmente, en la prevención de los procesos de erosión y movimientos en masa más que su remediación o control. Así mismo, deben estar implícitas en las prácticas agronómicas, culturales o cotidianas de los sistemas productivos y se debe demostrar su rentabilidad en el tiempo.

En cuanto a **las prácticas preventivas**, al requerir materiales propios de la región y ser actividades

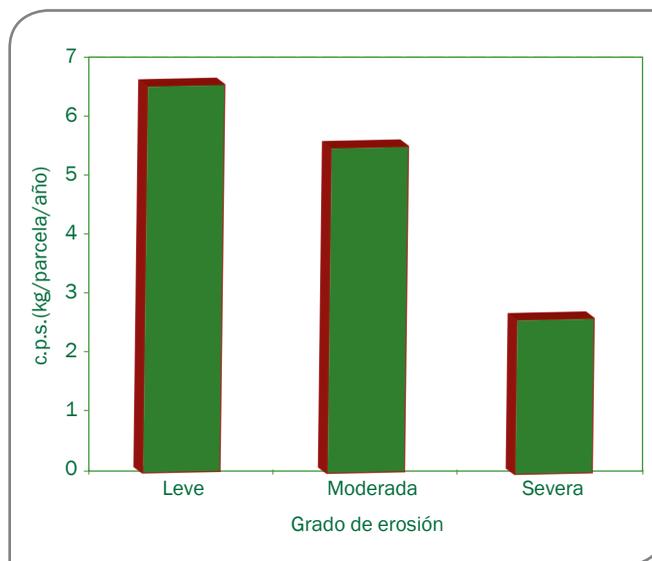


Figura 13.

Producción de café pergamino seco (c.p.s.) en parcelas agrupadas en fases de erosión, en suelos de la unidad Venecia. Leve: sitios del lote con $50\% \pm 10\%$ del valor máximo observado del primer horizonte. Moderada: sitios del lote con $25\% \pm 10\%$ del valor máximo observado del primer horizonte. Severa: sitios del lote con pérdida total del primer horizonte, e incluso parte del segundo horizonte.

implícitas dentro de los cultivos, **no requieren de la mayor gestión de recursos** por parte de la comunidad y las organizaciones, debido a que pueden ser gestionados ante diferentes entidades y deben ser invertidos principalmente en procesos de socialización, educación, establecimiento de viveros y acciones comunes, donde todos los miembros y actores de la comunidad participen activamente. Las prácticas de control o remediación de la erosión requieren siempre de mayor gestión e inversión de recursos y fortalecimiento de la participación comunitaria e interinstitucional.

En todos los climas, suelos, topografías y sistemas productivos se requieren prácticas de conservación de suelos y aguas (FNC, 1979). Aun en el ambiente cafetero con más bondades de suelo, clima y topografía, se requiere por lo menos del uso de coberturas vivas para evitar su degradación y erosión por el efecto del impacto de las gotas de lluvia, incluso los drenajes naturales más cortos requieren de protección y conexión de sus cauces, como práctica central de un plan de conservación de suelos y aguas, y del manejo preventivo de aguas servidas, de escorrentía y subsuperficiales. Aquellas zonas con más limitaciones ambientales de suelo, material parental, clima y topografía requieren un conjunto de prácticas integradas más complejas, que van desde la implementación de bosques de protección o productivos, sistemas agroforestales, protección de drenajes naturales, manejo de coberturas, barreras vivas, árboles de conservación de suelos y aguas, y manejo de aguas superficiales y subsuperficiales, entre otras más específicas y con restricciones.

La situación ideal para la conservación de suelos y aguas siempre debe contemplar el bienestar de la comunidad, para lo cual se requiere considerar la sostenibilidad desde sus dimensiones económica, ambiental y social.

Prácticas para la conservación de suelos y aguas y estrategias para su implementación en la empresa cafetera

Cenicafé ha estudiado métodos sencillos para prevenir la erosión hídrica y lograr la conservación de los suelos y su fertilidad, especialmente para proteger las zonas de ladera. De manera general, se han registrado diferentes prácticas como prioritarias para apoyar un **programa integral de conservación de suelos y aguas**, el cual se debe aplicar no solo cuando se cultiva café, sino también para cualquier otra especie vegetal, en suelos pendientes y en regiones con condiciones de alta e intensa precipitación. Bajo las anteriores premisas se consideran **15 prácticas básicas para la conservación de suelos y aguas**, en las cuales se plasman algunas estrategias para favorecer su aplicación.

1. Localización apropiada de los cultivos o uso del suelo de acuerdo con su vocación

Es la práctica más importante de conservación de suelos y aguas (Figura 14).

Es posible planear y diseñar con los cafeteros la disposición de los cultivos, para asegurar la productividad, sostenibilidad y seguridad alimentaria, al tener en cuenta algunos criterios (Gómez *et al.*, 1975; Gómez y Rivera, 1993):

- Los cultivos transitorios como maíz, fríjol, tomate, entre otros, deben establecerse en pendientes de inclinación menor al 30%, con prácticas adicionales de conservación de suelos y aguas, como las coberturas y las barreras vivas.

Consideraciones prácticas

*Es necesario que los caficultores y extensionistas exploren las diversas **alternativas para la prevención y el control de la erosión**, y elijan integralmente las más convenientes en función de sus intereses, cultura, tipo de cultivo y planificación, entre otros.*

Las acciones de conservación de suelos deben considerar un trabajo conjunto e integrado de todos los habitantes y productores de la microcuencia o vereda. Para lograr que el cafetero adopte e implemente en forma adecuada y permanente sistemas apropiados de producción, acordes con las disponibilidades técnicas y económicas, se requiere de un trabajo conjunto entre instituciones, organizaciones, investigadores, extensionistas y comunidad, que permita mejorar o adaptar prácticas a nivel tecnológico y organizativo, para aportar a la producción agrícola sostenible.



Figura 14.

Unidad productiva con disposición adecuada de los cultivos.

- Establecimiento de cultivos de café al sol o con cultivos transitorios intercalados o plátano, árboles frutales o caña, cuando coexistan pendientes hasta del 60%, suelos en rango de textura franca, sin restricciones de profundidad, sin déficit hídrico prolongado (Más de 20 días) y buen drenaje interno. Sin embargo, deben desarrollarse prácticas de conservación de suelos y aguas.
- Sistemas agroforestales multiestratos (Especies arbóreas y arbustivas de diferentes tamaños y estructuras aéreas y radicales) con especies nativas o productivas en pendientes entre el 40% al 100%, suelos con limitaciones físicas, baja retención de humedad, pobre almacenamiento de agua y de profundidad efectiva escasa. Sin embargo, deben establecerse prácticas de conservación de suelos y aguas adicionales, como el mantenimiento del mantillo o mulch, como componente prioritario en estos sistemas, para prevenir la erosión.
- Actividad ganadera. Debido a la alta escorrentía generada por la cobertura de pasto (Suárez de Castro, 1962), esta actividad constituye un factor importante en el desequilibrio hídrico de las zonas de ladera. Se propone la ganadería intensiva, mejorada y de rotación, en pendientes menores al 30%; en pendientes del 30% al 60% sistemas silvopastoriles, y en pendientes mayores al 60% el establecimiento de pastos de corte. En especial, se debe evitar la ganadería extensiva en zonas de ladera fuerte, mayor al 60% y con longitudes mayores de 50 m. Aunque el fenómeno de la ganadería extensiva es histórico y cultural, y tiene un impacto negativo en la deforestación y degradación de los suelos y aguas (PNUD, 2011), en zonas de ladera es más sostenible el uso del suelo en agricultura con prácticas de conservación que en ganadería extensiva.

- Bosques de protección o bosques productivos sostenibles en pendientes entre el 60% y más del 100%, en suelos susceptibles a la erosión y movimientos en masa. La tala indiscriminada de bosques causa una fuerte erosión de los suelos, ayuda a la sedimentación de los cauces de los ríos, lagunas y ciénagas, y facilita las inundaciones en zonas planas y deslizamientos en las vertientes que afectan la estructura vial y a la comunidad urbana y rural (PNUD, 2011).
- Sobre otros usos: Los nacimientos de agua, cuencas de ríos, áreas de protección natural y biodiversidad están expuestos a un grave riesgo debido a actividades antrópicas como la deforestación y la explotación minera, lo cual genera un conflicto en el uso del suelo en regiones cafeteras.

Estrategias para favorecer su implementación

Construcción de la cartografía de la empresa cafetera.

Es importante examinar las fotografías aéreas de la región y, de acuerdo con los tipos de degradación y erosión del suelo que diferencie, pueda discernir sobre el uso adecuado que se debe dar a éstos. De igual manera, analizar cuáles actividades agrícolas, pecuarias u otras, influyen en la degradación de los ecosistemas e iniciar planes para contrarrestarlo, por ejemplo, cultivos transitorios y sobrepastoreo, que de no corregirse, de nada sirve iniciar con implementación de otras medidas de prevención o control.

El conocimiento de las características del suelo es una base fundamental para darle uso adecuado y seleccionar las prácticas de conservación de suelos y aguas.

- Realice un mapa de la empresa cafetera. Dibuje la realidad de cada lote, poco a poco, para construir sus características y diseñar los planes de manejo
- Describa y evalúe sus características
- Elabore otro mapa de su empresa cafetera, con el fin de representar algunas características de los suelos (Localización de cada lote de terreno, uso actual del suelo y vegetación, sistema de producción, longitud e inclinación de la pendiente, espesor, textura y color de cada una de las capas u horizonte del suelo), que permitan planear y diseñar la disposición de los cultivos

2. Siembra con el mínimo disturbio del suelo

En el contexto mundial y aun en suelos de planicie, una de las prácticas más eficientes de conservación de suelos es la siembra de los cultivos bajo el sistema de labranza mínima o labranza de conservación.

En zonas tropicales de ladera y de alta precipitación, con suelos jóvenes, como los de la zona cafetera, el laboreo del suelo, el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo y el agotamiento de la materia orgánica, generan la destrucción de su estructura y de sus agregados y, por ende, su estabilidad al agua (Rivera *et al.*, 2010).

En la Figura 15 se observa cómo en diferentes suelos de la zona cafetera colombiana, al reducirse el tamaño de los agregados, el suelo se vuelve más susceptible a la erosión.

Estrategias para favorecer su implementación

Siembra bajo el sistema de labranza de conservación.

El laboreo del suelo y la preparación excesiva durante la siembra, generan la destrucción de su estructura y, con ello, se incrementa la susceptibilidad de suelos por erosión. Por ende, es necesario realizar las siguientes prácticas:

- La sensibilización de los agricultores frente a las propiedades del suelo y subsuelo antes de implementar la preparación del sitio para la siembra, con la elaboración del hoyo de 30 x 30 x 30 cm en suelos en un rango de textura franca, y de 40 x 40 x 40 cm en suelos de textura arcillosa o arenosa (Figura 16). Lo anterior al tener en cuenta que algunos suelos arenosos presentan alta resistencia a la penetración de las raíces.
- La incorporación de materia orgánica bien descompuesta al hoyo, a razón de 1 kg/hoyo, puede mejorar las condiciones físicas del sitio como la aireación, penetrabilidad y retención de humedad, entre otras.



Figura 16.

Preparación del sitio para la siembra con mínimo disturbio del suelo. Conservación de las coberturas vegetales.

3. Siembra en contorno o a través de la pendiente

Es una de las prácticas de conservación más adoptada por los cafeteros. Esta práctica es eficiente hasta en un 30% para prevenir las pérdidas de suelo por erosión (Gómez *et al.*, 1975). Este tipo de siembra disminuye la energía del agua de escorrentía en las laderas y va acompañada con otras prácticas de conservación de suelos.

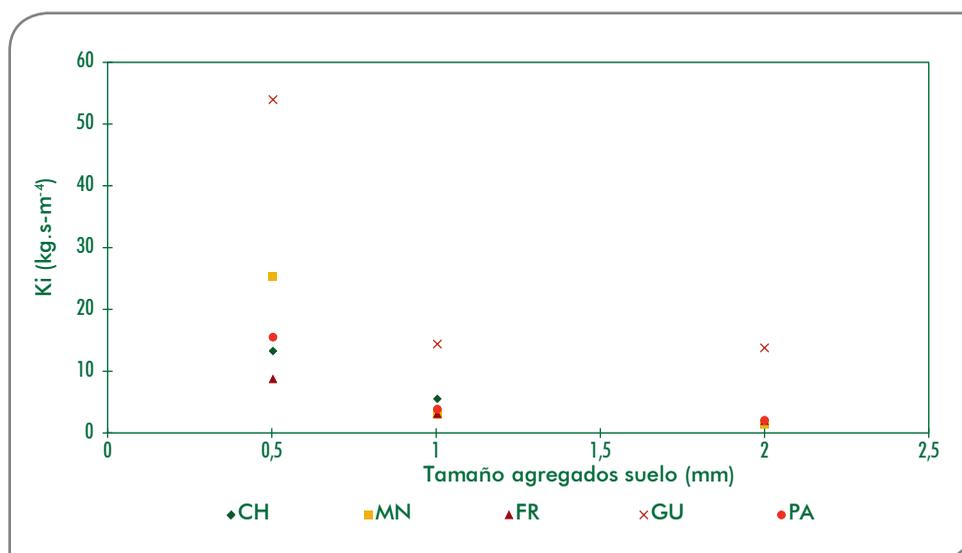


Figura 15.

Erodabilidad de diferentes suelos de la zona cafetera de Colombia, de acuerdo con el tamaño de agregados del suelo. Ki es el factor de erodabilidad (A mayor factor de erodabilidad mayor es la susceptibilidad del suelo a la erosión); CH: Unidad Chinchiná, MN: Unidad Montenegro, FR: Unidad Fresno, GU: Unidad Guamal, PA: Unidad Parnaso o 200 (Rivera *et al.*, 2010).

Estrategias para favorecer su implementación

Lo más práctico para su implementación es el trazo de una curva a nivel o surco en el centro de la ladera y completar el resto con surcos paralelos a lado y lado de esta línea (Figura 17).

Otra estrategia consiste en medir la pendiente del terreno, la cual comúnmente se expresa en porcentaje e indica la relación que existe entre el desnivel en la coordenada vertical (Distancia vertical "y") y la distancia que se debe recorrer en la coordenada horizontal (Distancia horizontal "x") (Figura 17).

Cómo medir la pendiente de un terreno.

1. Tome una cuerda o un trozo de madera de 2 m de longitud.
2. Coloque uno de sus extremos en un punto de la ladera y nivélelo horizontalmente (con la ayuda de un nivel). Posteriormente, coloque una plomada desde el otro extremo de la cuerda o trozo de madera, y mida la distancia desde este punto hasta el suelo.
3. Para calcular la pendiente en porcentaje se emplea la siguiente relación:

$$\text{Pendiente en \%} = \frac{\text{Distancia Vertical (y)}}{\text{Distancia Horizontal (x)}} \times 100$$

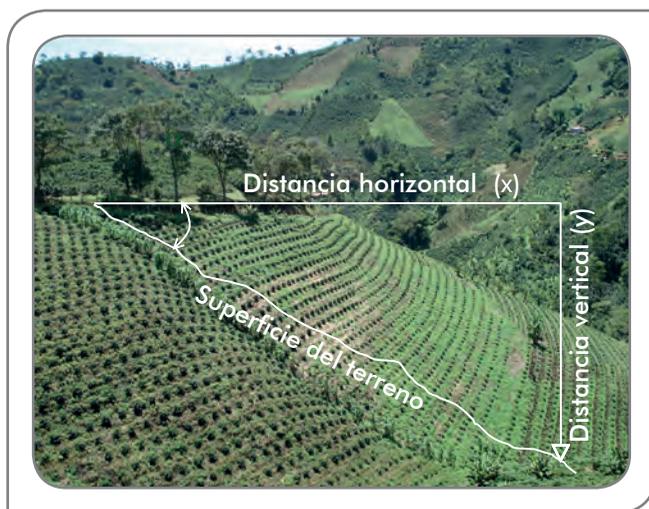


Figura 17.

Siembra a través de la pendiente. Diagrama sobre la pendiente del terreno

Para calcular la pendiente en grados, basta con resolver el triángulo rectángulo con las dos distancias conocidas.

$$\tan \alpha = \frac{\text{Distancia Vertical (y)}}{\text{Distancia Horizontal (x)}} \times 100$$

Por ejemplo: Si se utilizó una cuerda de 2 m de longitud (Distancia horizontal "x"), y que la distancia medida desde el extremo de la cuerda hasta el suelo es de 1,25 m (Distancia vertical "y"), la pendiente del terrenos en porcentaje es:

$$\text{Pendiente} = \frac{1,25 \text{ m}}{2,00 \text{ m}} \times 100 = 62,5\%$$

Para el cálculo de la pendiente en grados se tiene que:

$$\tan \alpha = \frac{1,25 \text{ m}}{2 \text{ m}} \times 100 = 0,625$$

$$\alpha = \tan^{-1} 0,625$$

$$\alpha = 32,00^\circ$$

Donde una pendiente del 62,5% corresponde a un ángulo de inclinación de 32°, y una pendiente del 100% corresponde a un ángulo de inclinación de 45°.

4. Coberturas muertas – repique en el suelo de la ramilla del café y residuos de cosecha

Las coberturas muertas, la distribución de residuos vegetales o mulch, se reconoce mundialmente como una práctica pionera de la conservación de suelos y aguas (Hudson, 1982), sin embargo, algunos cafeteros quemaron este material o lo retiraron del lote, generando impactos ambientales negativos sobre el aire, el suelo, la biodiversidad y las aguas. En los sistemas de café a libre exposición solar y en los sistemas de café con árboles, el mulch es uno de los componentes fundamentales para la conservación del suelo y el agua dado que éste disminuye el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo y disminuye su temperatura y evaporación (Suárez de Castro, 1962). Además, las coberturas muertas toman gran relevancia en zonas con déficit hídrico prolongado y, en especial, en las épocas cálidas del evento del Fenómeno de El Niño, para conservar la humedad del suelo.

En la renovación del cultivo del café por zoca existe la posibilidad de permitir en el suelo su cubrimiento con la ramilla y la hojarasca, producto del desrame de los árboles de café (Figura 18).

Estrategias para favorecer la práctica

Sensibilizar al agricultor con ejercicios de transferencia en miniparcelas de escorrentía y comparar la erosión con el suelo desnudo y el suelo con mulch (Figura 19). Registrar con el caficultor, en un metro cuadrado, el peso del material seco y sensibilizarlo sobre su aporte al suelo. Así, se pueden esparcir por el suelo y el plato del árbol, de manera uniforme, los residuos vegetales provenientes de las desyerbas o cultivos intercalados como el maíz, para contribuir a la conservación de la humedad del suelo, dado que ésta disminuye su evaporación y el impacto de las gotas de lluvia. Motivar al agricultor a realizar esta práctica e integrarlo en los planes de renovación.

5. Barreras vivas o artificiales

La práctica de las barreras vivas consiste en sembrar plantas de diferentes especies en hileras, a través de la pendiente. Preferiblemente se emplean especies perennes o semiperennes, de crecimiento denso o buen macollamiento (Figura 20). Este tipo de barreras ayudan a reducir la velocidad del flujo de agua por escorrentía y, por lo tanto, disminuyen la capacidad erosiva y de lavado de nutrientes; en las zonas donde se localizan las barreras se puede aumentar la infiltración y la humedad del suelo (FNC, 1979; Gómez y Rivera, 1993).

Las barreras vivas pueden establecerse como sistemas de doble propósito, ya que se pueden utilizar especies que sirvan de alimento para animales, plantas medicinales, aromáticas, forrajes y granos, entre otros. También se pueden establecer barreras de arbustos como leguminosas, combinadas con especies herbáceas, que mejoren la calidad del suelo y se adapten fácilmente a la zona.



Figura 19.

Ejercicio de sensibilización con miniparcelas de escorrentía, sobre el efecto de la cobertura muerta en la protección del suelo.



Figura 18.

Coberturas muertas - cobertura del suelo con ramilla proveniente del zoqueo del café.



Figura 20.

Cultivo de café con barreras vivas de pasto vetiver.

Especies recomendadas para la elaboración de barreras vivas

Vetiver: *Vetiver zizanoides* (Figura 21)

Limoncillo: *Cymbopogon citratus*

Citronella: *Cymbopogon winterianus* (Figura 22)

Imperial: *Axonopus coparius*

Leguminosas (arbustos), plantas aromáticas, ornamentales o medicinales.

Las barreras artificiales cumplen la misma función que las barreras vivas, de disminuir la energía de las aguas de escorrentía en la ladera, y con ello la erosión.

Se utilizan en zonas con déficit de humedad prolongado mayor de 2 meses. Se construyen con materiales inertes de la misma finca como leños o rocas, dispuestos a través de la pendiente. La utilización de los leños gruesos resultantes de la zoca del café son apropiados para la aplicación de esta práctica (Figura 23). Además, es una práctica adecuada para épocas cálidas como las del Fenómeno de El Niño.



Figura 21.

Pasto vetiver, especie recomendada para barreras vivas.

Pendiente (%)	Distancia (m)*
5	25
10	20
15	18
20 - 25	15
30 - 35	12
40 - 55	9
60	6

Tabla 1.

Distancia propuesta entre barreras según la pendiente del terreno (FNC, 1979).
*Para el caso de un cultivo de café libre de coberturas

Estrategias para favorecer la práctica

- La sensibilización mediante demostraciones de campo, sobre el efecto de la longitud de la ladera en la erosión, la enseñanza del trazo en curvas a nivel o en contorno, las barreras vivas multipropósito y los viveros comunitarios, pueden ser estrategias para su adopción.
- Pueden sembrarse barreras simples, dobles o en triángulo, a distancias de siembra entre 15 cm a 30 cm entre plantas; la separación de las barreras depende de la pendiente del terreno (Tabla 1), del tipo de cultivo, de las condiciones del suelo, de las condiciones ambientales, así en zonas de mayor riesgo a la erosión, la distancia entre barreras será menor.



Figura 22.

Citronella, especie recomendada para barreras vivas.



Figura 23.

Barreras inertes con fajinas a partir de residuos de la zoca de café.

6. Cultivos en fajas

Consiste en diseñar bloques o fajas homogéneas y densas de cultivos, dispuestos a través de la pendiente, con un ancho entre 10 y 30 m, separados por calles de 2 a 3 m de ancho, protegidos con coberturas densas multipropósito (Figura 24). La eficiencia de esta práctica depende de la cobertura que se mantenga en las calles de protección. En altas pendientes, para evitar que se formen calles muy largas en sentido de la ladera, se aconseja la disposición de los bloques o fajas de forma alternada (Figura 25), o establecer escalones o disipadores de la escorrentía con materiales inertes (Leños, rocas y guadua, entre otros) (FNC, 1979).

En la modalidad de cultivos en fajas, también se encuentra la disposición en surcos dobles, que consiste en sembrar dos surcos en contorno, separados entre sí por calles de mayor distancia, protegidas por coberturas densas que no interfieran con el cultivo (Figura 26). Este arreglo de siembra es muy eficiente en la prevención de la erosión, combinado con el uso de coberturas.

Estrategias para favorecer la práctica

Exaltar los caficultores que aplican esta práctica de cultivos en fajas integrada con el uso de coberturas.

7. Sistemas agroforestales para la conservación del suelo y el agua

Existen regiones cafeteras con alta amenaza de erosión y movimientos en masa, que por sus condiciones de

suelos, rocas, clima y pendiente se hace indispensable la implementación de sistemas agroforestales tecnificados, para la conservación del suelo y el agua. Lo ideal es el establecimiento de árboles o arbustos adaptados a cada región (Rivera y Gómez, 1992), algunos de los más utilizados en zonas cafeteras son:

Guamo (*Inga* spp.)

Nogal (*Cordia alliodora*)

Chachafruto (*Erythrina edulis*)

Caucho (*Hevea brasiliensis*)

Leucaena (*Leucaena leucocephala*)

Matarratón (*Gliricidia sepium*)



Figura 25.

Cultivo en fajas alternado, sin otras prácticas de conservación en fuerte ladera.



Figura 24.

Ejemplo de cultivos de café dispuestos en fajas.



Figura 26.

Cultivos en fajas en disposición de surcos dobles.

Carbonero o pizquín (*Albizzia carbonaria*)

Cámbulo (*Erythrina poeppigiana*)

Cedro negro (*Juglans neotropica*)

Cedro (*Cedrela* sp.)

Guásimo (*Guazuma ulmifolia*)

Guayacán (*Tabebuia* sp.)

Yarumo (*Cecropia* sp.)

Nacedero (*Trichantera gigantea*)

Guandul (*Cajanus cajan*)

Tefrosia (*Tephrosia* spp.)

Tambor o frijolito (*Schizolobium parahyba*)

Balso blanco (*Heliocarpus americanus*)

Arboloco (*Montanoa cuadrangularis*)

Con esta práctica se propone la formación de una malla densa de raíces, que permita anclar las diferentes capas u horizontes del suelo, con el fin de evitar los deslizamientos, principalmente en suelos muy pendientes, con capas impermeables (Arcillosas) o susceptibles a deslizamientos (Arenosos) o en zonas muy lluviosas.

La vegetación en todos sus estratos, desde la herbácea hasta la arbórea, juega un papel importante en la estabilidad de las laderas, debido entre otras, a las siguientes funciones (Figura 27):

- Sus raíces aumentan la resistencia del suelo a los deslizamientos
- Captan gran cantidad de agua lluvia

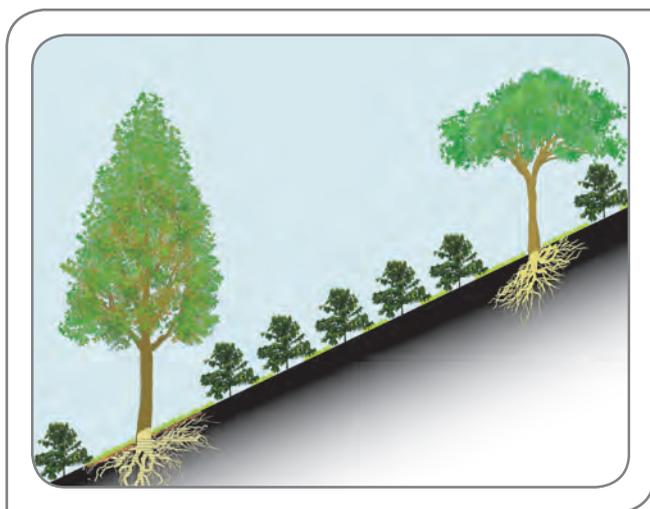


Figura 27.

Disposición de un arreglo espacial de árboles de conservación de suelos y aguas en una ladera cultivada con café.

- Ayudan a extraer agua del suelo en zonas húmedas
- Reducen la energía de las aguas de escorrentía
- Mejoran la regulación de aguas en los drenajes naturales
- Incrementan la rugosidad de la superficie del suelo
- Mejoran el ciclaje de materia orgánica y nutrimentos

Estrategias para favorecer la práctica

- Como estrategia de implementación se podría hacer un ejercicio de sensibilización con los cafeteros, al tener en cuenta los árboles de su región, la arquitectura de su dosel y sus raíces, sobre cómo los dispondría en una ladera susceptible a deslizamientos, como árboles de conservación para asegurar la sostenibilidad. La sensibilización y educación sobre la importancia de la vegetación arbórea en la conservación de suelos, aguas, biodiversidad y la motivación hacia el establecimiento de viveros comunitarios, son estrategias de importancia.
- La selección de especies a utilizar en la implementación de sistemas agroforestales como árboles de conservación de suelos y aguas, depende de las condiciones ambientales de la zona, de la pendiente del terreno, del tipo de suelo y del cultivo, entre otros.
- Reevaluar el concepto de sombrío por el de sistemas agroforestales tecnificados y el de árboles de conservación de suelos y aguas, de esta forma sembrar árboles con raíz muy profunda, principalmente en la base de la ladera, a medida que se avanza hacia la parte alta se siembran otras especies de menor tamaño. Esta práctica se recomienda para suelos con pendientes muy fuertes y con horizontes profundos susceptibles a deslizamientos.
- Se debe establecer una cobertura superficial densa, que no compita con el cultivo, ésta se encarga de anclar los primeros 10 cm del suelo, luego una capa de 50 cm de espesor es amarrada por el café u otro cultivo, a su vez esta capa se amarra con arbustos, preferiblemente con especies leguminosas (Tefrosia, guandul, matarratón, acacias y crotalaria, entre otras), posteriormente con especies de mayor tamaño, hasta terminar con grandes árboles como nogal y cedro, entre otros.

8. Uso de variedades mejoradas, fertilización con base en los análisis de suelo y manejo agronómico del cultivo

La cobertura ejercida por el cultivo también cuenta para prevenir la erosión. El cultivo del café es un factor muy importante en la recuperación y conservación del suelo y el agua, debido a que proporciona una eficiente cobertura

del mismo, siempre y cuando se adopten las prácticas agronómicas adecuadas, entre ellas, la fertilización y aplicación de enmiendas con base en el análisis del suelo (Hudson, 1982), dado que un desbalance químico del suelo provocado por una fertilización inadecuada, lo hace más susceptible a la erosión, en especial por el aumento de elementos que contribuyen a su dispersión y el lavado o pérdida de elementos que favorecen la agregación. Es importante recordar que, un cultivo afectado por plagas y enfermedades ve reducida su capacidad para cubrir el suelo, de allí la importancia del manejo integrado del cultivo en la conservación de suelos.

Estrategias para favorecer la práctica

- Si la variedad de café tiene adaptación regional, en la medida que el cultivo se desarrolle bajo las recomendaciones agronómicas, su nutrición, su vigor, desarrollo y, por ende, el cubrimiento del suelo será mejor, lo anterior se determina con base en los análisis de suelos.
- Motivar al caficultor para que en los planes de renovación de cafetales siempre implemente prácticas de conservación de suelos y aguas, y en unión con el extensionista haga un análisis profundo e integral sobre la vocación de uso del suelo y la aplicación de las prácticas agronómicas fundamentales que favorecen la sostenibilidad, como la selección de la variedad, densidad de siembra apropiada y análisis de suelo, entre otras. Una práctica de sensibilización sería hacer el ejercicio en el campo sobre la medición visual de la cobertura ejercida por una planta susceptible a la roya y una variedad mejorada, con las prácticas agronómicas adecuadas.

9. Manejo integrado de arvenses o coberturas

Las coberturas disminuyen la escorrentía y percolación, y son el principal agente de disipación de la energía de las gotas de lluvia y disminución de la erosión. El Manejo Integrado de Arvenses (MIA) es la práctica más eficiente para la prevención de la erosión (97%) (FNC, 1982), y por ello, como práctica bandera de conservación dentro de los sistemas productivos se le dedicará un poco más de profundidad (Figura 28).

Su implementación demanda un gran esfuerzo en la sensibilización y educación de la comunidad. Al entender la filosofía del MIA que consiste en el entendimiento de la importancia de la cobertura del suelo para prevenir la erosión, con la integración de los diferentes métodos de control de arvenses, se podría implementar el manejo integrado, independiente de las herramientas utilizadas para tal fin, como el caso del selector de arvenses, herramienta muy útil para llevar a cabo la filosofía del MIA; sin embargo, a pesar de su

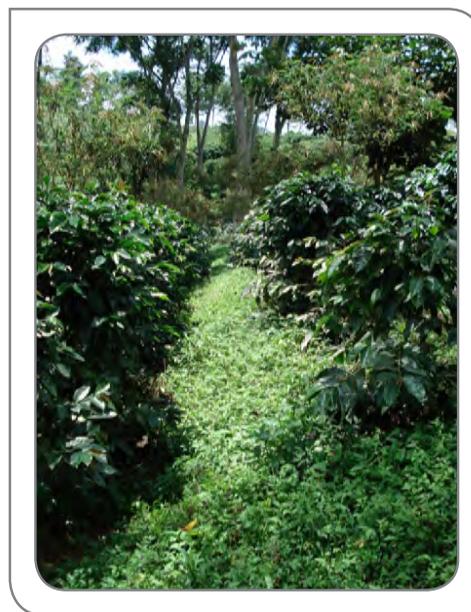


Figura 28.

Sistema productivo de café con la implementación del manejo integrado de arvenses.

utilidad, no se debe convertir en el eje central de la adopción de MIA, ya que las bases están en interiorizar y comprender su filosofía.

La utilización de un solo método de control siempre tiene dificultades, debido a la especialización de las poblaciones de arvenses frente al mismo método, sea manual, mecánico o químico, como por ejemplo la aparición de arvenses resistentes a herbicidas (Menza y Salazar, 2006). La integración de diferentes métodos de control no asegura la implementación del MIA sino va acompañado de la filosofía de no desnudar el suelo.

El solo hecho de integrar diferentes métodos, por ejemplo, el control químico con selector de arvenses y corte con machete, no asegura que se haga el MIA, si estas prácticas se realizan para desnudar el suelo. Además, la aplicación del MIA no debe depender exclusivamente de la adopción de una herramienta.

Estrategias para favorecer la práctica

Interiorizar la filosofía del MIA que consiste en mantener el suelo con coberturas para conservarlo, al igual que el agua, sin que se afecte la productividad y los costos de producción, lo cual se logra al disminuir la proporción de las poblaciones de arvenses agresivas y favorecer aquellas de fácil manejo y mediana y baja interferencia con el cultivo.

Existen las siguientes estrategias para la implementación del MIA:

- La interiorización y apropiación de la filosofía, las estrategias y las herramientas del MIA por parte del extensionista, la cual es de suma importancia para transmitir un mensaje seguro y confiable.
- La sensibilización y educación del agricultor, su familia y demás trabajadores, es el primer paso para la implementación del MIA.
- El reconocimiento de las arvenses por su grado de interferencia. Acercar a los cafeteros con las arvenses, construyendo con ellos un listado de aquellas más agresivas en la finca, cuenca o vereda.
- Abordar el tema de los costos del MIA. Los costos siempre serán una inquietud y limitante para que el cafetero emprenda la adopción del MIA, al igual que las demás prácticas de conservación de suelos y aguas que se implementen, por lo que se debe demostrar la rentabilidad y efectividad en el tiempo. La evaluación y el seguimiento de los costos de las desyerbas y la implementación de lotes de demostración, donde se validen los costos del MIA frente al manejo tradicional, puede ser una estrategia que contribuya en su adopción.
- Análisis integral sobre el efecto del MIA en la productividad. La duda sobre el efecto de las coberturas en la producción también puede ser una barrera para la adopción del MIA, como práctica de conservación de suelos y aguas.
- Superar las dificultades con el uso de las herramientas para el MIA. Apropiación y acercamiento al selector de arvenses.
- Abordar la implementación del MIA en diferentes sistemas de producción de café.

10. Abonos verdes y aplicación de abonos orgánicos

Los abonos verdes y orgánicos se conocen mundialmente como una práctica de mejoramiento y conservación de suelos y aguas. En cada zona se debe evaluar previamente el desarrollo de las especies utilizadas como abono verde y su efecto en el desarrollo del café (Figura 29).

En las regiones cafeteras, dado los bajos volúmenes disponibles de abonos orgánicos, se recomienda como práctica de conservación de suelos su aplicación para su acondicionamiento físico, cuando ya están erosionados o han perdido parcial o totalmente el horizonte orgánico.

Estrategias para favorecer la práctica

En cuanto a los abonos verdes se recomiendan sombríos transitorios en zonas con déficit hídrico prolongado o en

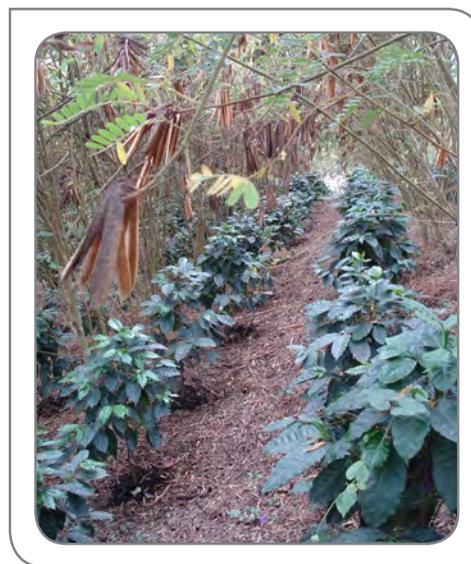


Figura 29.

Abonos verdes y orgánicos como práctica de conservación de suelos y aguas en áreas con déficit hídrico.

suelos de baja productividad, con especies como: Guandul, crotalaria o tefrosia. En cada zona se debe evaluar previamente el desarrollo de estas especies y su efecto en el café. Así como implementar plantas leguminosas adaptadas a cada región.

11. Protección de taludes, cunetas y caminos

En muchos sitios se tiene la cultura de eliminar por completo la cobertura de los taludes y cunetas en las empresas cafeteras, por medio de herbicidas, quema y corte con machete. Estas prácticas aceleran la erosión y pueden causar la inestabilidad del talud y, con ello, movimientos en masa.

Estrategias para favorecer la práctica

Hacer un manejo selectivo de coberturas en los taludes y cunetas; en lo posible mantenerlas con coberturas vivas para aumentar la rugosidad, disminuyendo la velocidad de las aguas (Figura 30), tanto en los taludes como en las cunetas. También se recomienda la construcción de disipadores de energía con latas de guadua dentro de las cunetas (Figura 31).

12. Monitoreo y drenaje de las aguas subsuperficiales en la base de las laderas o taludes

En términos generales, los suelos de ladera de la región cafetera ubicados en condiciones de exceso hídrico



Figura 30.

Prácticas para el manejo de cunetas, protegidas con coberturas vivas.

requieren de drenaje. Típicamente, en una ladera se presentan diferentes gradientes de humedad, de tal manera que el balance de humedad en la cima de la ladera es diferente al balance de humedad de la parte baja de ésta, lo mismo que en las depresiones o concavidades. Igualmente, la presencia de horizontes de muy baja permeabilidad (Por ejemplo donde el suelo se encharca) o cambios significativos de las propiedades físicas de los horizontes del suelo pueden generar flujos laterales de agua, y en algunos casos formar planos de falla, que incrementan el riesgo de movimientos en masa de las laderas (Hincapié, 2011; Salazar, 2011).

En general, el subsuelo presenta una permeabilidad lenta, que favorece la saturación permanente de los horizontes de suelo. Estos excesos de humedad se concentran principalmente en el pie de la ladera o en algunos casos en sitios distintos de la misma (A media ladera), donde hay discontinuidad en la permeabilidad de los materiales.

La fluctuación de los niveles freáticos (Agua subterránea), cerca a la superficie y en la base de ladera hacen que ésta sea susceptible a los movimientos en masa por incremento de la presión intersticial ejercida por el agua.

Estrategias para favorecer la práctica

En épocas con exceso hídrico se recomienda hacer un monitoreo de los niveles freáticos en la base de las laderas, en diferentes épocas del año, para drenarla, si el nivel freático está entre los 2 y 3 m de profundidad (Figura 32).

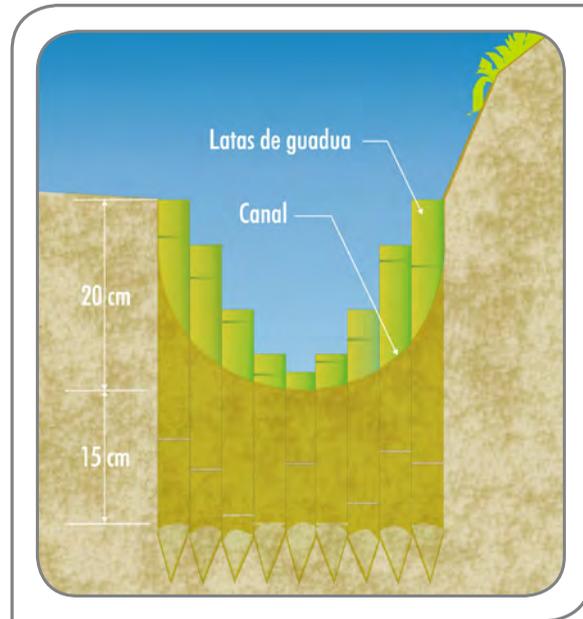


Figura 31.

Prácticas para el manejo de cunetas. Disipadores de energía con latas de guadua.

13. Manejo de las aguas al nivel de finca y sistema productivo

El manejo de las aguas debe hacerse de una manera eficiente, enfocada hacia el desagüe ordenado de las laderas, evitando causar problemas de erosión e infiltración indebida en puntos frágiles, procurando conducir las hasta los drenajes naturales, los cuales deben estar bien protegidos.



Figura 32.

Monitoreo y drenaje en la base de la ladera.

Consideraciones prácticas

En muchos casos los deslizamientos y erosión avanzada en fincas cafeteras ocurren por un inadecuado manejo o conducción de las aguas lluvias y de escorrentía (Salazar e Hincapié, 2010); para evitar lo anterior, es importante capacitar al cafetero y la comunidad para:

- *Cuidar las obras de estabilidad y protección de su zona*
- *Mantener las cunetas y cajas colectoras de agua de las carreteras*
- *Conducir las aguas de escorrentía mediante zanjillas protegidas con vegetación o trinchos vivos a sitios igualmente bien protegidos con vegetación densa*
- *Drenar y evacuar aguas subsuperficiales*
- *Entregar las aguas directamente a los drenajes naturales, no dejarlas a media ladera*
- *Evitar concentrar grandes volúmenes de agua por un mismo sitio*
- *En los caminos o carreteras rurales de ladera es conveniente la disipación o división del agua en trayectos cortos, por ejemplo cada 20 m, para evitar la erosión por concentración de altos volúmenes del agua*
- *Canalizar las aguas de los techos y llevarlas a un lugar seguro y protegido con vegetación, o amortiguar su golpe en el suelo*
- *Conducir adecuadamente las aguas de las viviendas y llevarlas al drenaje natural, haciendo un tratamiento previo de éstas*
- *Monitorear las mangueras que están enterradas y hacer su mantenimiento continuo*
- *Monitorear constantemente los tanques de almacenamiento de agua o pozos, asegurándose que no existan filtraciones o reboses*

Estrategias para favorecer la práctica

Se propone llevar a cabo un proyecto de manejo de aguas al nivel de la comunidad cafetera, mediante un proceso de implementación de las prácticas mencionadas, en las fincas que conforman las veredas o cuencas, lo cual se puede lograr a través de un proceso participativo, que incluye las etapas de socialización, diagnóstico, capacitación, implementación de estrategias y seguimiento.

14. Protección de drenajes naturales, fuentes hídricas, afloramientos o nacimientos de aguas

La protección de los drenajes naturales debe hacerse en toda la cuenca o vereda, con la intervención y participación de toda la comunidad.

La principal práctica para prevenir los movimientos masales y problemas de erosión avanzada, es mantener y proteger los drenajes naturales por pequeños que éstos sean (Salazar e Hincapié, 2006).

Se debe reforzar la conservación de los drenajes naturales, sembrando vegetación de diversas especies, incluyendo plantas de rápido crecimiento, con el fin de dar estabilidad a la base de las laderas, evitar el socavamiento ocasionado por el flujo incontrolado de las aguas y a la vez proteger los nacimientos de agua (Figura 33).

Estrategias para favorecer la práctica

- La elaboración del mapa o croquis de la finca, cuenca o vereda, también es de utilidad para establecer estrategias en la conservación y conectividad de los drenajes naturales
- Los drenajes deben conectarse entre sí, desde la parte más alta hasta el drenaje principal, lo cual permite una adecuada regulación de las aguas en toda la cuenca; a medida que el drenaje es de mayor tamaño e importancia, debe tener una mayor área de protección, con vegetación espontánea o siembra con especies propias de la zona. Siempre se debe evitar llevar los cultivos hasta la orilla de los drenajes naturales.

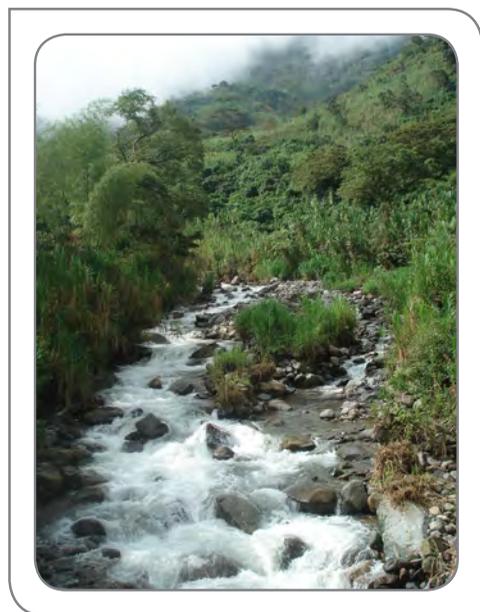


Figura 33.

Protección de fuentes hídricas.

15. Prácticas con restricciones

Se consideran prácticas con restricciones debido a que no son útiles en todos los tipos de suelos o ambientes.

Acequias de ladera en curvas a nivel. Las acequias de ladera son canales transversales que conducen las aguas en la ladera hacia un drenaje natural o sitio seguro (Figura 34). La restricción está en las características del suelo y subsuelo, ya que si es muy permeable y suelto la acequia se convierte en un foco de infiltración del agua, que en zonas de exceso hídrico conlleva a deslizamientos. Si no hay una entrega adecuada del agua o si la acequia concentra altos volúmenes de agua hacia un solo sitio, esta práctica favorecerá los movimientos en masa.

Una práctica para prevenir la erosión en zonas de alta precipitación es disminuir y evacuar la cantidad de agua que ingresa a la ladera, esto se logra con obras mecánicas de desviación de aguas de escorrentía, como el caso de las acequias de ladera en curvas a nivel.

Este tipo de práctica se debe restringir en el caso de suelos poco profundos y cuando los horizontes subsuperficiales sean inestables y susceptibles a la erosión, debido a que ésta demanda del conocimiento del caudal de las aguas de escorrentía, que se pueden llegar a conducir en un momento dado. Las acequias preferiblemente deben estar revestidas con cobertura vegetal y conducir las aguas a drenajes naturales protegidos con vegetación (FNC, 1979).

Terrazas individuales. Esta práctica consiste en hacer una pequeña terraza individual en el sitio específico donde se siembra el café; en zonas con déficit de humedad fuerte permite conservar la humedad al favorecer la infiltración y disminuir la escorrentía. Su aplicación se debe restringir en suelos poco profundos y en zonas con exceso hídrico (FNC, 1979).

Estrategias para favorecer la práctica

La acequia debe trazarse preferiblemente en curvas a nivel y estar revestida con vegetación. Esta práctica se puede integrar con la siembra de las barreras vivas. Se recomienda en suelos con profundidad efectiva mayor a 1,5 m de textura franca a franca arcillosa, tanto del suelo como del subsuelo.

Consideraciones prácticas

Con la adopción de las prácticas de conservación de suelos y aguas se previene o reduce la erosión hídrica y se mantiene o aumenta la fertilidad del suelo, y con esto la buena producción de los cultivos. Así mismo, algunas prácticas de conservación de suelos y un adecuado manejo de aguas ayudan a prevenir los deslizamientos o movimientos en masa.

Restauración ecológica del suelo

Prevención y mitigación de los movimientos en masa

En el mundo cada vez son más frecuentes los estudios sobre **restauración ecológica del suelo** para la mitigación de movimientos en masa.

La vegetación y la materia orgánica juegan un papel muy importante en la estabilidad de las laderas, debido a que influyen en la regulación hídrica y en el incremento de la resistencia al corte; bajo esta premisa se han investigado los tratamientos de prevención y mitigación de movimientos en masa, los cuales son ambiental, social y económicamente viables para las zonas cafeteras. “Una gran proporción de los movimientos en masa se pueden evitar si el problema se identifica

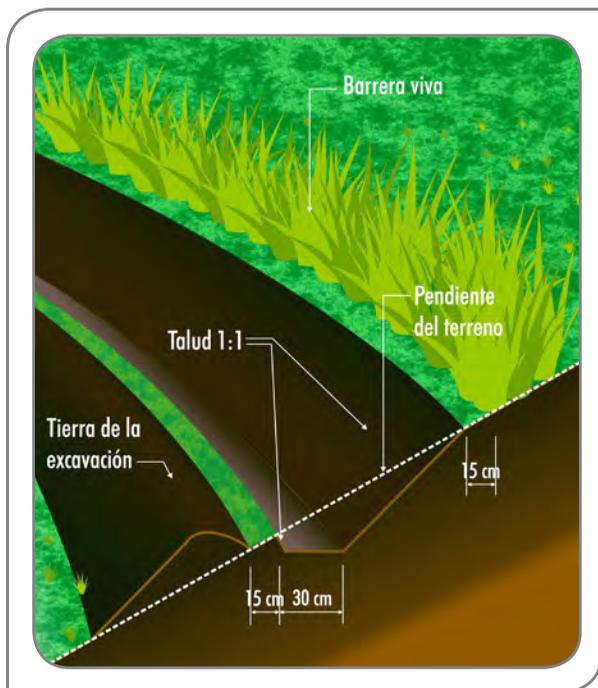


Figura 34.

Acequia de ladera en contorno con barrera viva (Tomado de FNC, 1979).



Figura 35.

Detalle de un tratamiento de bioingeniería. Al inicio se espera que la resistencia de los troncos o tallos vivos o inertes proporcionen estabilidad a la ladera. En el futuro la estabilidad estará dada por el desarrollo de la vegetación.

con anterioridad y se toman medidas de prevención o control” (Suárez, 1998).

La **restauración ecológica** es el proceso de asistir el recubrimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido por factores naturales o antrópicos (National Research Council, 1992; Barrera y Valdés, 2007). Esta rama de la ecología es muy amplia y allí tienen cabida los **métodos de restauración de laderas afectadas por erosión y movimientos en masa como la bioingeniería del suelo y los tratamientos biotécnicos**.

Bioingeniería del suelo

Es un tipo de restauración ecológica que se refiere al uso de los organismos vivos, principalmente la vegetación, como un medio biológico y de ingeniería para la prevención y control de la erosión y movimientos en masa (Gray y Sotir, 1996; Morgan y Rickson, 1995) (Figura 35). De la anterior definición puede entenderse que el uso de la cobertura vegetal y la conservación o mejoramiento de la materia orgánica del suelo, se convierten en herramientas de restauración ecológica

del suelo ante su degradación por la erosión y los movimientos en masa. **“Una buena cobertura vale por muchas estructuras de conservación, más fácilmente que otras prácticas de conservación más o menos complejas¹”.**

Funciones de la vegetación y la materia orgánica en la bioingeniería

La vegetación, especialmente arbórea, cumple tres funciones principales en la ladera:

Incremento de la resistencia al corte del suelo, debido al refuerzo y anclaje que ejercen las raíces y el tronco sobre el mismo (Tabla 2). Las raíces transfieren su tensión al suelo y el anclaje de los troncos permite que éstos actúen como pilares o anclajes en los taludes, especialmente cuando se ubican en la base de ladera (Suárez, 1998).

La regulación de los excesos de agua, que pueden saturar y erosionar el suelo, se da por tres procesos que son: La interceptación, evapotranspiración y disminución de la energía erosiva del agua (Morgan y Rickson, 1995).

¹ Rafael Salcedo, citado por Fernando Suárez de Castro, Chinchiná, abril 19 de 1951. Circular de Extensión 273. Campaña de Defensa y Restauración de los Suelos.

Incremento de la cohesión dado por la materia orgánica, las raíces y los organismos del suelo. La materia orgánica mejora la resistencia del suelo a los deslizamientos (Figura 36), debido al aumento de la cohesión, aun en condiciones de saturación del mismo por el agua.

Según Gray y Sotir (1996) la **bioingeniería del suelo** es algo único, en el sentido que las partes de las plantas por ellas mismas, raíces y tallos, sirven como principales elementos mecánicos y estructurales en el sistema de protección de una ladera. Estructuras vivas y plantas enraizadas son embebidas en la superficie, en varios arreglos geométricos, de tal forma que sirven para reforzar el suelo, drenaje hidráulico y barreras para el movimiento de tierra.

Si las plantas vivas y partes embebidas de las mismas son utilizadas para reforzar el suelo y su drenaje, entonces se requiere algún entendimiento sobre los efectos hidráulicos y mecánicos de la vegetación en las laderas, para poder implementar con éxito la estabilización con bioingeniería del suelo.

Alcances de la bioingeniería del suelo

La bioingeniería no siempre es la solución para la prevención y mitigación de todos los problemas de erosión

y movimientos en masa, ya que existen movimientos de masa y casos de erosión avanzada complejos y muy profundos, donde su combinación con otras técnicas puede ser más eficiente.

Al aplicar la **bioingeniería del suelo** es importante tener en cuenta que en tanto se da el desarrollo de la vegetación para cumplir su función de regulación hídrica y anclaje, se debe estabilizar el suelo, inicialmente con otras técnicas de ingeniería o prácticas culturales, mientras se establece la vegetación.

A pesar de que en el mundo se tienen estudios cuantitativos del aporte de algunas plantas al incremento de la cohesión en los suelos (Ziemer, 1981; Barrera, 2003), lo cual favorece su resistencia al corte, esto generalmente no se aplica a los diseños de estabilidad, como tampoco los aportes positivos en la regulación del agua del suelo. Se conoce poco sobre el sistema radical de las plantas y su interacción en diferentes suelos.

Cuando se trata de planos de falla profundos (Más de 10 m) las raíces difícil o lentamente alcanzan estos estratos. En muchos estudios de bioingeniería se desconoce el umbral de estabilidad dado por la vegetación, en el sentido que existe un punto donde deja de jugar a favor de la estabilidad para convertirse

Especie vegetal	Cohesión (kPa)	Resistencia al corte (Rc)
Nogal (<i>Cordia alliodora</i>)	56,2	65,5 a
Nacedero (<i>Trichanthera gigantea</i>)	25,5	60,2 a
Guamo (<i>Inga codonantha</i>)	36,5	59,0 a
Café var Colombia (<i>Coffea arabica</i>)	23,0	44,2 b
Suelo sin cobertura	21,4	43,7 b

Tabla 2.

Cohesión y resistencia al corte con diferentes especies arbóreas en un suelo derivado de cenizas volcánicas de la zona cafetera, con un promedio de 0 a 1,20 m de profundidad (Barrera, 2003). Las letras distintas indican diferencias estadísticas

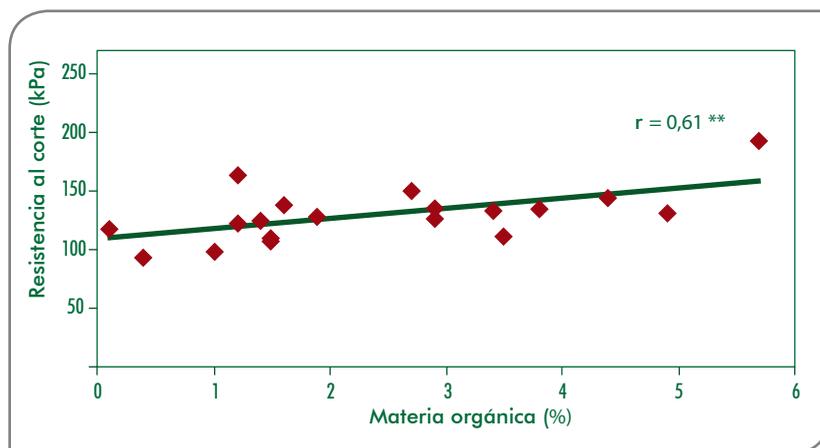


Figura 36.

La resistencia al corte, que es un indicador directo de la resistencia de la masa de suelo a la rotura o falla sobre una superficie determinada, está positivamente relacionada con el contenido de la materia orgánica. Información obtenida del horizonte B en siete unidades de suelo de la zona cafetera colombiana (Medina y Salazar, 2009). Los rombos indican el número de mediciones

en un factor que incrementa los esfuerzos cortantes. Por esta razón, existe la posibilidad de la aplicación de tratamientos biotécnicos.

La estabilización biotécnica del suelo

La estabilización biotécnica utiliza elementos o estructuras mecánicas en combinación con elementos biológicos (o plantas) para controlar y prevenir las fallas de las laderas y la erosión (Figura 37). Ambos elementos deben funcionar de manera integrada y complementaria (Gray y Sotir, 1996).

Función de la vegetación en la estabilidad de laderas

La vegetación juega un papel muy importante en la estabilidad de las laderas, por esto el cambio de bosques a pastos puede incrementar, en más de tres veces, los eventos de deslizamientos (Crozier, 2010). El cambio o la intervención de la cobertura vegetal, además de disminuir el refuerzo de las laderas, tiene efectos fundamentales en las relaciones hidroedafológicas, término entendido como la rama de la edafología que da cuenta del rol del suelo en la circulación de las aguas continentales que guardan estrecha relación con la estabilidad de las laderas (Gray y Sotir, 1996).

La degradación o remoción de la vegetación (Deforestación), prácticas agrícolas inadecuadas, sobrecargas, explanaciones, llenos artificiales, construcción de reservorios, intervención de drenajes y concentración de aguas (Crozier, 2010) pueden incrementar los deslizamientos, por lo cual se considera que la actividad humana influye mucho en su incremento.

Limitaciones de la vegetación

Los procesos de erosión y movimientos en masa están relacionados con factores geológicos, climáticos, edafológicos y sociales, y la vegetación aunque importante, es solo un factor que por sí solo no puede regular todo el sistema y evitar que se presenten deslizamientos o inundaciones. Por ejemplo, cuando en una cuenca se registran niveles de la precipitación por encima de los niveles históricos, el papel de la vegetación en la regulación hídrica puede disminuir (Andréeassian, 2004).

Aspectos como el peso de los árboles y los esfuerzos tipo palanca que se aplican al suelo, están en permanente debate, debido al efecto del viento sobre los mismos. El primero juega a favor y en contra, a favor por incrementar el esfuerzo de confinamiento que favorece



Figura 37.

Ejemplo de estabilización biotécnica. En la parte superior del talud se observa la construcción de obras civiles y en la inferior tratamientos de bioingeniería.

la estabilidad de la ladera y, en contra, dado que el peso se descompone también en esfuerzos horizontales y verticales, que en un momento dado y en especial bajo condiciones de saturación del suelo pueden afectar negativamente la estabilidad; el segundo, es menos frecuente dado que podría darse en zonas con fuertes vientos que no son habituales en la zona cafetera.

En un bosque natural, los posibles efectos negativos de la vegetación en la estabilidad de laderas son compensados por el incremento en la cohesión y resistencia al corte del suelo dado por las raíces y troncos (Bishop y Stevens, 1964). Sin embargo, aunque todavía existen dudas, los efectos negativos potenciales debidos a la vegetación podrían disminuir con la disposición y arquitectura de los árboles que se ubican en el talud y con adecuados sistemas de drenaje; es así como los árboles de mayor peso y altura podrían ubicarse en la base de ladera y los de menor peso en la corona (Suárez, 1998).

Tratamientos de restauración ecológica del suelo

Los caficultores y extensionistas, dentro de su quehacer en las regiones cafeteras se enfrentan a diario con retos de casos de movimientos en masa y erosión avanzada, donde se ve afectado directamente el bienestar del cafetero, su familia y las comunidades, en este sentido las preguntas pueden ser varias **¿Qué hacer?, ¿Por qué y para qué se debe restaurar?, ¿Cuándo se debe restaurar?, ¿Con qué y con quiénes se debe restaurar?, ¿Vale la pena restaurar?** (Barrera y Valdes, 2007).

Para ello, se dan unas **recomendaciones básicas o primeros auxilios** que pueden ser de gran ayuda para el cafetero y que permiten abordar la restauración ecológica de áreas degradadas.

Recomendaciones básicas para el tratamiento de deslizamientos o erosión avanzada en empresas o cuencas cafeteras

1. En el caso de una comunidad afectada por movimientos en masa o erosión avanzada, debe hacerse un inventario lo más exacto posible, de las personas, área productiva, áreas en riesgo y afectadas, entre otros aspectos, y apoyar a la comunidad en la gestión de recursos ante las instituciones municipales y gubernamentales; el proceso es lento y costoso, por lo que es mejor la inversión en prevención, educación y mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades. Sin la organización comunitaria y la gestión ambiental y de recursos es difícil el inicio de obras de restauración, ya que el paso de la asesoría a la práctica demanda más recursos económicos que las obras preventivas. **La restauración ecológica debe hacerse con la participación activa de la comunidad.**

2. Al presentarse un deslizamiento o un caso de erosión avanzado, antes de emprender cualquier tipo de obra se deben **establecer las relaciones de causalidad**, con la participación del caficultor, ya que en muchos de los casos al retirar el agente causal, el problema tiende a estabilizarse por sí solo.

Para ello se debe hacer un diagnóstico e inventario sencillo pero detallado de la zona, que contemple el tipo erosión o movimiento en masa, tipo y estado del suelo, subsuelo y roca, el uso actual del suelo y su uso potencial, el manejo actual del suelo, clima, geomorfología, vegetación, presencia de aguas superficiales y subsuperficiales, estado de la infraestructura y las viviendas, el manejo de aguas e información socio económica, entre otros. Se requiere de un análisis de la región o cuenca antes de centrarse en un sitio específico, lo cual se logra con la ayuda de la fotointerpretación de imágenes aéreas o satelitales recientes o antiguas (Figura 38).

3. En algunos casos de erosión avanzada, por ejemplo, el control más efectivo puede estar en aislar el sitio con cercos, para permitir la regeneración natural de la vegetación y evitar la entrada de animales.

4. Antes de implementar cualquier tipo de obra es fundamental **aislar el sitio, el perfilado de la corona del deslizamiento o cárcava (Figura 39), y el sellado**



Figura 38.

Inventario, diagnóstico y análisis de causalidad con participación de la comunidad.



Figura 39.

Perfilado del talud.

de grietas al alrededor. El perfilado en muchas ocasiones permite disminuir el avance del proceso erosivo hacia la corona de la ladera y a disminuir la pendiente de los escarpes. Aunque el área agrietada sea muy grande, es de vital importancia proceder a su sellado dado que el agua dentro de la grieta genera presiones intersticiales que son negativas para la estabilidad del terreno; este sellado se logra mediante la utilización de un pisón de madera e incorporando en la grieta, suelo proveniente del mismo deslizamiento o de la misma área.

5. Desviar en forma segura las posibles aguas de escorrentía que puedan entrar al sitio, es esencial

para evitar que el proceso continúe extendiéndose. Esto puede lograrse con zanjas o canales revestidos de cobertura vegetal (Figura 40a), caballones o barreras vivas en la corona del deslizamiento o cárcava, que conducen las aguas de la corona hacia drenajes naturales protegidos (Figura 40b).

6. Es común que en diferentes puntos dentro del deslizamiento o cárcava afloren o “nazcan” aguas subsuperficiales que saturan el terreno, convirtiéndolo en “coladas de lodo”, por lo que a esta agua se le debe dar salida rápida por medio de un sistema de drenaje. En la restauración ecológica se propone el uso de los **filtros vivos o biofiltros**, que consisten en zanjas construidas en el sentido de la pendiente, entre 0,5 a 1,5 m de profundidad (Hasta llegar a suelo firme), las cuales se llenan con material vegetal vivo dispuesto en el mismo sentido de la pendiente y, posteriormente, se cubren con suelo, este sistema permite que el agua interna drene libremente por el filtro, evitando la saturación del suelo (Rivera, 1998) (Figuras 41). Adicionalmente, el material vegetal utilizado rebrota cumpliendo con las funciones de anclaje y evapotranspiración, entre otras. También pueden realizarse filtros con material inerte como las rocas (Figura 42) y geotextiles, entre otros.

En la elaboración de drenajes, es importante tener en cuenta la textura, porosidad y permeabilidad de los horizontes de suelo, ya que existen suelos difíciles de drenar dada su alta capacidad de retención de humedad. Además, se debe considerar que la pendiente media de los drenes no debe ser menor al 2%. En pendientes superiores al 30% los materiales que conforman los filtros vivos y se deben sostener o complementar con pequeños trinchos, para evitar su desplazamiento ladera abajo.

7. Si necesariamente por el sitio corren aguas de escorrentía, la mejor opción es disipar su energía con diques escalonados, construidos con material vivo o inerte de la propia finca, barreras vivas o trinchos vivos. Los trinchos vivos son bioestructuras que permiten disminuir la velocidad del agua de escorrentía, sin obstruir el paso libre de la misma y, por lo tanto, evitar el socavamiento en el fondo del drenaje y la base de sus taludes (Figuras 43 y 44), son construidos con vegetación viva propia de la zona y de fácil propagación vegetativa (Rivera, 2002)(Figura 45).

Para el cálculo de la distancia entre trinchos vivos es posible emplear la siguiente fórmula (Rivera, 2002):

$$E = H/S$$

Donde,

E: Espacio entre los trinchos vivos

H: Altura efectiva del trincho

S: Pendiente del terreno

8. Una vez se han evacuado, aislado y manejado las aguas subsuperficiales y superficiales se debe proceder a la **reforestación del área**, para ello, la mejor práctica es la realización de empalizadas, disipadores de la energía de la escorrentía o pequeñas terrazas escalonadas, conformadas por suelo del mismo sitio y material vegetal vivo, bien empotrado en el terreno.

En la base del talud, con el fin de otorgar consistencia a éste y propiciar su estabilización, contención y amarre,



Figura 40.

Formas de desviación de aguas de escorrentía en la corona del talud. **a.** Zanjas revestidas con cobertura; **b.** Barreras vivas en la corona del talud.



Figura 41.

Drenaje de aguas subsuperficiales con filtros vivos o biofiltros.

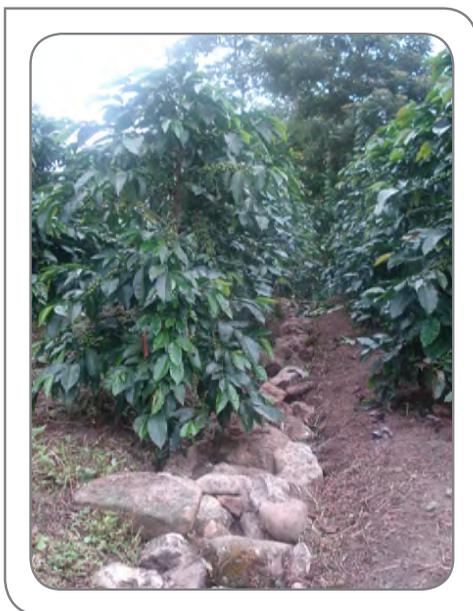


Figura 42.

Filtro con material inerte (rocas).

deben hacerse terrazas escalonadas vivas, como se muestra en las Figuras 46 y 47, desde la base del talud, en material de guadua viva o verde, con yemas o brotes frescos, o estacas de material vegetal vivo de especies propias de la zona.

Las guadas o material vegetal vertical, debe ser enterrado a 2 m de profundidad y separado 1 m, aproximadamente. La primera guadua o material vegetal horizontal debe estar casi en su totalidad enterrado, el número de guadas o estacas vegetales horizontales dependerá de la pendiente del terreno, pueden ser desde 2 hasta 6; es recomendable que la terraza no sobrepase 1 m de altura, debido a que el peso del suelo que la conforma puede hacerla colapsar, además, las terrazas en zonas con exceso hídrico no deben ser construidas con el fin de almacenar o retener aguas, por ello deben tener una leve inclinación en el sentido de la pendiente, y es recomendable que tengan un adecuado sistema de drenaje.

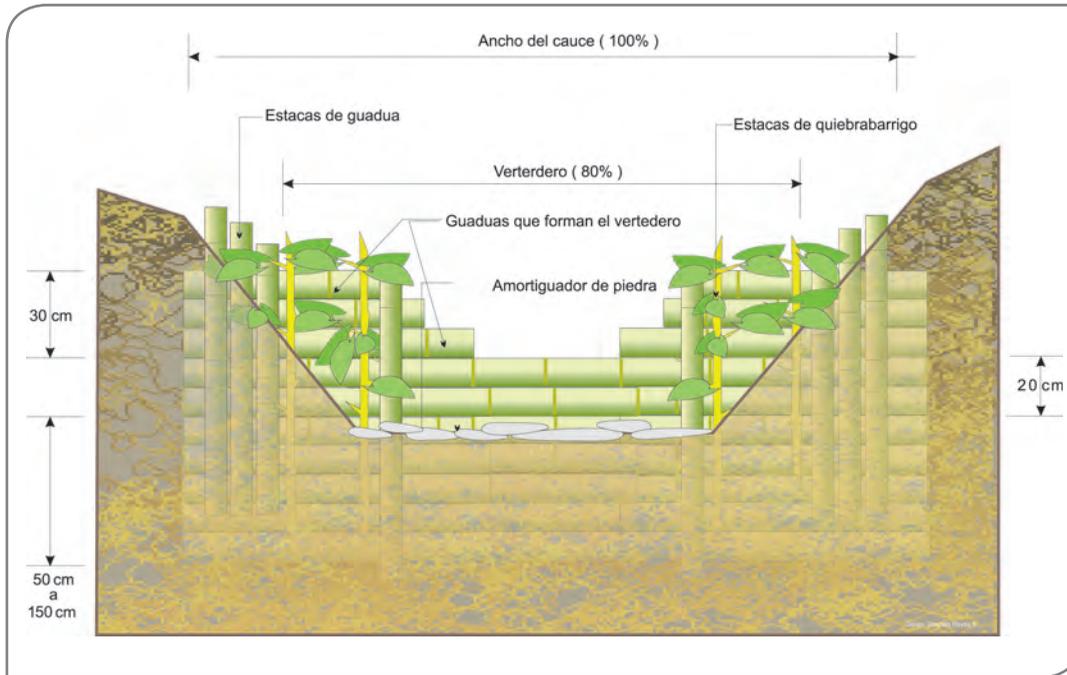
**Figura 43.**

Diagrama de trinchos vivos (Adaptado de Rivera, 2002).

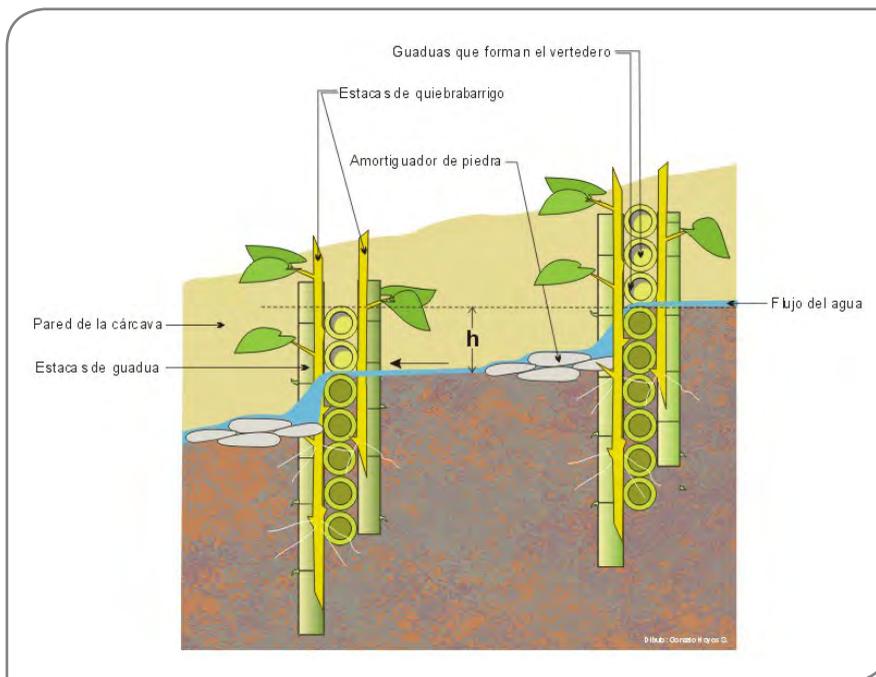
**Figura 44.**

Diagrama de trinchos vivos (Adaptado de Rivera, 2002).

9. **Reforestación con especies arbustivas y arbóreas o establecimiento de árboles de conservación**, para el anclaje de los horizontes del suelo con vegetación. Esta práctica de restauración ecológica consiste en crear una malla densa de raíces que permita brindar anclaje a los diferentes horizontes del suelo, tanto para la prevención como para el control de movimientos en masa. Con ésta se busca que los árboles y arbustos cumplan algunas funciones básicas en la ladera, como

incrementar la resistencia del suelo al corte, también se busca que la vegetación contribuya a la regulación de los excesos de agua que pueden saturar y erosionar el suelo.

10. **Implementación de las prácticas de conservación de suelos y aguas en la empresa cafetera.** En muchos casos se observa que al aplicar adecuadamente



Figura 45.

Manejo de aguas superficiales con trinchos vivos escalonados.



Figura 46.

Ejemplos de reforestación y protección de taludes con terrazas escalonadas vivas

las prácticas de restauración de suelos en el sitio afectado, sino se realizan las prácticas preventivas de conservación de suelos y aguas en la empresa cafetera, los problemas de erosión y movimientos en masa continúan afectando los sistemas productivos. Por ello, el manejo de un área afectada debe contemplar la **integración de prácticas preventivas y de restauración.**

11. Por último, **el seguimiento, evaluación y mantenimiento con participación comunitaria** es muy importante para la sostenibilidad de las obras (Figura 48).



Figura 47.

Reforestación de los taludes con disipadores de energía vivos y siembra de cobertura vegetal (*Arachis pintoii*), en taludes inestables de alta pendiente.



Figura 48.

Seguimiento, evaluación y mantenimiento de las obras de restauración con participación comunitaria.

Restauración ecológica con participación comunitaria e institucional

Los retos de la comunidad

En Colombia, la legislación es rica en normas para el uso de los recursos naturales, pero el problema va más allá de las normas, es también de conciencia y acuerdos con las comunidades, sobre el valor estratégico de la conservación y adecuado uso de los bosques, el suelo y el agua (PNUD, 2011).

En general, las comunidades cafeteras presentan una reconocida organización que permite la planeación y elaboración de planes, programas y proyectos en conservación de suelos y aguas. Igualmente, la gran mayoría de comunidades presentan una gran fortaleza en su junta de acción comunal, fortaleza que es motivada, acompañada y dinamizada por el Servicio de Extensión (Figura 49).

Según (Gómez, s.f.) cuando la comunidad realiza proyectos comunes hay corresponsabilidad de todos con todos, así como una puesta en común de lo que cada uno es y de lo que cada uno tiene. Cuando se es consciente de las necesidades que afectan a todos, la comunidad se agrupa para solucionarlas a través de un proyecto comunitario participativo en la vereda o en la microcuenca.

Una comunidad participante se forma cuando hay intereses, problemas y necesidades comunes para actuar solidariamente y buscar soluciones con un objetivo común:

Consideraciones prácticas

*No todas las prácticas de conservación de suelos y aguas protegen completamente el suelo de la degradación o mejoran su capacidad productiva, por lo tanto, se deben emplear varias prácticas o técnicas simultáneamente en el sistema de producción o área que se desee proteger, un **sistema de producción de café con prácticas de conservación de suelos y aguas involucra la implementación combinada de obras físicas y prácticas agronómicas.***

el bienestar espiritual y material (Gómez, s.f), es lo que se debe fomentar y potencializar en las regiones cafeteras.

Por lo anterior, uno de los retos es lograr la sensibilización ante el problema de la erosión que vive la región, ocasionado además de los factores naturales, por el inadecuado manejo y uso de los suelos. Por ello, se enfatiza en la afirmación de que **“la erosión es un problema social”**, y sin organización, conciencia, educación y políticas gubernamentales e institucionales, es poco lo que se puede hacer para controlar este problema y, por el contrario, de no existir dicha organización con educación y políticas, el problema seguirá avanzando hasta afectar irreversiblemente la sostenibilidad en la región.



Figura 49.

Sensibilización y educación. La educación influye en la adopción de prácticas de conservación de suelos y aguas, en el entendimiento de las consecuencias de la degradación y en el cambio de comportamiento.

Como ejemplo, está la comunidad del Río Negro en Argelia (Antioquia), donde en una primera sensibilización del Servicio de Extensión se logró motivar a la comunidad para la elaboración de viveros comunitarios de especies forestales, para la siembra de árboles de conservación. Los agricultores motivados eligieron voluntariamente aportar un espacio en sus fincas para hacer en cada vereda o sector un vivero comunitario de especies arbóreas propias de la región, con la colaboración de toda la comunidad, y buscar el apoyo de las Alcaldías de los municipios de Argelia y Nariño, Cornare y el Comité de Cafeteros, como un primer paso para mitigar y prevenir los procesos de erosión y como un fruto de una primera jornada de sensibilización.

El reto de la educación en la conservación de suelos y aguas

Mundialmente se ha demostrado que los agricultores con mayor nivel de educación conocen la importancia de la aplicación de las prácticas de conservación de suelos y aguas, entendiendo su relación con la productividad y los efectos que causa la erosión dentro y fuera del sitio (Vignola *et al.*, 2010). Por tal razón, se recomienda proponer proyectos de educación a la comunidad, en especial en los agricultores adultos y los niños y niñas.

La educación ambiental juega un papel importante en el replanteamiento de un tipo de relación individuo-sociedad-naturaleza, a partir de la formación de valores y actitudes que desarrollen el respeto por la diversidad natural, social y cultural (Gómez, s.f).

El bienestar de las familias campesinas es el factor más decisivo para invertir en prácticas de conservación. Los cafeteros dinámicos y responsables, motivados a participar, son los primeros en realizar inversiones en conservación; esta inversión es principalmente en tiempo y trabajo (Kessler, 2006).

En las áreas cafeteras se refleja un desconocimiento del problema de la erosión, para lo cual una alternativa podría ser la educación y capacitación, orientada hacia la apreciación real del valor del suelo por parte del cafetero, de esta manera, se tomará conciencia que el deterioro por falta de prácticas adecuadas en el suelo afecta el valor del terreno y pone en riesgo la subsistencia de las futuras generaciones (Serna, 2009).

La educación sobre el uso, manejo y conservación de los recursos naturales, principalmente el suelo y el agua, debe ir necesariamente de la mano de políticas gubernamentales e institucionales y del fortalecimiento de la organización comunitaria con personas líderes motivadas voluntariamente hacia la conservación de los suelos y las aguas (Figura 50).



Figura 50.

Educación sobre el uso, manejo y conservación de los recursos naturales.

Recomendaciones prácticas

- No todas las prácticas de conservación de suelos y aguas protegen completamente el suelo de la degradación o mejoran la capacidad productiva del mismo, por lo tanto, se deben emplear varias prácticas o técnicas simultáneamente en el sistema de producción o área que se desee proteger. De allí que un sistema de producción de café con prácticas de conservación de suelos y aguas, involucra la implementación combinada de obras físicas y prácticas agronómicas, integrado al componente social y económico.
- Es necesario explorar con la comunidad las diversas alternativas integrales para la prevención y el control de la erosión y elegir las más convenientes en función de sus condiciones sociales, ambientales y económicas (Intereses propios, cultura, tipo de cultivo y planificación, entre otras).
- Las acciones de conservación de suelos y aguas deben considerar un trabajo conjunto de todos los habitantes, autoridades, organizaciones, instituciones y productores de la cuenca, vereda o municipio. Estas acciones deben estar integradas a las políticas, planes de desarrollo y de ordenamiento, en lo cual la organización comunitaria tiene un papel fundamental. Para lograr su adopción, se requiere de un apoyo técnico y social, donde el papel del extensionista en la conservación de suelos y aguas es un factor clave y de estímulo y motivación para los cafeteros.
- La actividad antrópica como la deforestación, la desprotección de los drenajes naturales, fallas en obras de infraestructura, manejo inapropiado y el conflicto en el uso del suelo son las causas generadas por el hombre más asociadas a los movimientos en masa al nivel de la empresa cafetera.
- La restauración ecológica del suelo, vista como la aplicación de la bioingeniería del suelo y los tratamientos biotécnicos, son opciones viables para la prevención y control de movimientos en masa en la región cafetera, debido a sus costos bajos, eficiencia e impacto ambiental positivo. Su implementación es un reto, sin embargo, se conocen algunas estrategias y primeros auxilios donde el extensionista puede influir para su aplicación con el apoyo de Cenicafé, con la participación comunitaria y la gestión ambiental.
- La restauración ecológica del suelo contribuye al incremento de la estabilidad de las laderas de la zona cafetera y en la mitigación de los movimientos en masa. Se fundamenta en el aprovechamiento de los beneficios de la vegetación y la materia orgánica en la estabilidad del suelo y la regulación del agua.
- El bienestar social y económico de las comunidades es fundamental para la conservación de los recursos naturales, al igual que la aplicación de la ciencia y la tecnología, ya sean técnicas avanzadas o la actualización de las prácticas tradicionales de manejo del suelo y el agua.

Literatura citada

- ANDRÉASSIAN, V. *Waters and forests: From historical controversy to scientific debate*. *Journal of hydrology* 15: 3.371-3.387. 2004.
- BARRERA G., J.E. *Evaluación del sistema radical de cuatro especies vegetales en la estabilidad de laderas de la zona cafetera colombiana*. Bogotá (Colombia), Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003.137 p.
- BARRERA, J.I.; VALDÉS, C. *Herramientas para abordar la restauración ecológica de áreas disturbadas en Colombia*. *Universitas Scientiarum* 12: 11-24. 2007.
- BISHOP, D.M.; STEVENS, M.E. *Landslide on logged areas in southeast Alaska*. USDA Forest Service, Northern Forest Experiment Station Research Paper NOR-1, 18 p. 1964.
- CROZIER M. J. *Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review*. *Geomorphology* 124 (3-4):260-267. 2010.
- CRUDEN D. M. *A simple definition of a landslide*. París: *International association of engineering geology* 43 (1): 27-29. 1991.
- FNC. *Cuarenta años de investigación de Cenicafé: Suelos*. Chinchiná: CENICAFÉ. 1982.
- FNC. *Manual del cafetero colombiano*. Chinchiná: CENICAFÉ, 1979. 209 p.
- GÓMEZ A., A.; RIVERA P., J.H. *La conservación de los suelos y la sostenibilidad de la productividad en la zona cafetera*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1993. 8 p. (Avances Técnicos No. 190).
- GÓMEZ A., A.; GRISALES G., A.; SUÁREZ S., J. *Manual de conservación de suelos de ladera*. Chinchiná: CENICAFÉ, 1975. 267 p.
- GÓMEZ A., A.; ALARCÓN C., H. *Erosión y conservación de suelos en Colombia*. p. 1-15. En: GÓMEZ A., A.; GRISALES G., A.; SUÁREZ S., J. *Manual de conservación de suelos de ladera*. Chinchiná: CENICAFÉ, 1975. 267 p.
- GÓMEZ A., A. *La participación de la comunidad en la sostenibilidad del ambiente*. Chinchiná : CENICAFÉ, (s.f.).
- GRAY, D.H.; SOTIR. R.B. *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: A practical guide for erosion control*. Nueva York : John Wiley and Sons, 1996. 400 p.
- HINCAPIÉ G. E.; SALAZAR G. L.F. *Impacto de la erosión hídrica sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y sobre la producción del cultivo de café*. *Cenicafé* 62 (2) : 2012 (En imprenta).
- HINCAPIÉ G. E. *Estudio y modelación del movimiento del agua en suelos volcánicos de ladera*. [En línea]. Palmira : Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias agropecuarias, 2011. Tesis: Doctorado. Disponible en internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6142/1/9005502.2011.pdf>. Consultado el 17 de diciembre de 2011.
- HUDSON, N. *Conservación de suelos*. Barcelona : Reverté, 1982. 352 p.
- IDEAM. *Boletín informativo sobre el monitoreo de los fenómenos de “El Niño” y “La Niña”*. [En línea]. Bogotá: IDEAM, 2010. Disponible en internet: <http://www.pronosticosyalertas.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=894>. Consultado el 30 de julio de 2010.
- JARAMILLO R., A.; ARCILA P., J. *Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de la niña y su efecto en la caficultura*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2007. 8 p. (Avances Técnicos No. 389).
- KESSLER C.A. *Decisive key-factors influencing farm households’ soil and water conservation investments*. *Applied geography* 26(1):40-60. 2006.
- MANTILLA, G.; DE LA TORRE, L.E.; ORDÓNEZ, N.; CEBALLO, J.L.; EUSCÁTEGUI, C.; PÉREZ, P.; PÉREZ, S.; MARTÍNEZ, N.; SÁNCHEZ, R.; MALDONADO, N.; PÉREZ, S.; GAITÁN, J.; CHÁVEZ, L.; CHAMORRO, C.; FLÓREZ A. *Los suelos: Estabilidad, productividad y degradación*. p. 228-277. En: LEIVA, P. *El medio ambiente en Colombia*. 2da. ed. Bogotá : IDEAM, 2001
- MEDINA L., S.B.; SALAZAR G., L.F. *Relación entre la resistencia al corte directo y propiedades físicas y químicas en algunos suelos de la zona cafetera colombiana*. *Cenicafé* 60(3):253-268. 2009.
- MENZA F., H.D.; SALAZAR G., L.F. *Estudios de resistencia al glifosato en tres arvenses de la zona cafetera colombiana y alternativas para su manejo*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2006. 12 p. (Avances Técnicos No. 350).

- MORGAN, R.P.C.; RICKSON, R.J. *Slope stabilization and erosion control: A bioengineering approach*. Washington : National academic press, 1995. 306 p.
- PNUD. *Colombia rural: Razones para la esperanza informe nacional de desarrollo humano 2011*. Bogotá : PNUD, 2011. 438 p.
- RIVERA P., J.H. *Construcción de trinchos vivos para la conducción de aguas de escorrentía en zonas tropicales de ladera*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2002. 8 p. (Avances Técnicos No. 296).
- RIVERA P., J.H. *Control de cárcavas remontantes en zonas de ladera mediante tratamientos biológicos*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1998. 8 p. (Avances Técnicos No. 256).
- RIVERA P., J.H.; SINISTERRA R., J.A. *Uso social de la bioingeniería para el control de la erosión severa*. Cali : CIPAV, 2006. 110 p.
- RIVERA P., J.H.; GÓMEZ A., A. *El sombrío de los cafetales protege los suelos de la erosión*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1992. 8 p (Avances Técnicos No. 177).
- RIVERA P., J.H.; LAL, R.; AMÉZQUITA C., E.; MESA S., O.; CHAVES C., B. *Predicción de la erodabilidad en algunos suelos de ladera de la zona cafetera colombiana*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2010. 8 p.
- SADEGHIAN, S. *Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2008. 43 p.
- SALAZAR G., L.F. *Determinación de la humedad del suelo para el inicio de movimientos en masa en la región cafetera colombiana con el uso de modelos físicos experimentales*. [En línea]. Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 2011. Tesis: Magister. Disponible en internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/5442/>. Consultado el 5 de diciembre de 2011.
- SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. *Los movimientos masales y erosión avanzada en la zona cafetera colombiana*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2006. 8 p. (Avances Técnicos No. 348).
- SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. *Interferencia de arvenses en diferentes etapas del cultivo del café en la zona cafetera central*. Chinchiná : CENICAFÉ, 60(2):126-134. 2009.
- SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. *Manejo de suelos y aguas para la prevención y mitigación de deslizamientos en fincas cafeteras*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2010. 8 p. (Avances Técnicos No. 401)
- SÁNCHEZ T., E.; AHMED, K.; AWE, Y. *Prioridades ambientales para la reducción de la pobreza en Colombia: Un análisis ambiental del país para Colombia*. Washington: Banco mundial 2006. 1 p.
- SÁNCHEZ J., A. *Después de la inundación*. Coyuntura económica 41 (2):213-246. 2011.
- SÁNCHEZ, R., G.; VARGAS, H.; GONZÁLEZ, Y.; PABÓN, D. *Los fenómenos cálido del Pacífico (El Niño) y frío del Pacífico (La Niña) y su incidencia en la estabilidad de laderas en Colombia*. Bogotá : IDEAM, 2001. 12 p.
- SERNA G., C.A. *Valoración contingente de la erosión de los suelos de la zona cafetera central de Colombia*. Cenicafé 60(1):86-104. 2009.
- SUÁREZ D. J. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander, 1998. 548 p.
- SUÁREZ DE C., F.; RODRÍGUEZ G., A. *Investigaciones sobre la erosión y conservación de suelos en Colombia*. Chinchiná : FNC, 1962. 473 p.
- SUÁREZ DE C., F. *Campaña de defensa y restauración de los suelos*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1951. (Circular No. Ex-273).
- TERLIEN M., T.J. *Modeling spatial and temporal variations in rainfall-triggered landslides: The integration of hydrologic model, slope stability models and geographic information systems for the hazard zonation of rainfall-triggered landslides with examples from Manizales (Colombia)*. Enschede: International institute for aerospace survey and earth sciences, 1998. 233 p.
- VIGNOLA, R.; KOELLNER, T.; SCHOLZ, R.W.; MCDANIELS, T.L. *Decision-making by farmers regarding ecosystem services: Factors affecting soil conservation efforts in Costa Rica*. Land use policy 27(4):1132-1142. 2010.
- ZIEMER, R.R. *Roots and the stability of forested slopes. Erosion and sediment transport in Pacific rim steepplands*. Christchurch. IAHS 132:343-361. 1981.

Autores del Manual del Cafetero Colombiano

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia

Gerencia General

Luis Genaro Muñoz O., Gerente General
Marcela Urueña G., Asesora Gerencia General

Gerencia de Comunicaciones y Mercadeo

Luis Fernando Samper G., Gerente de Comunicaciones y Mercadeo

Servicio de Extensión

Carlos Alberto Saldías B., Líder Nacional de Extensión

Fundación Manuel Mejía

Margarita Buitrago R., Directora Ejecutiva (E)

Cenicafé

Dirección

Fernando Gast H., Biólogo Ph.D.

Disciplinas de Investigación

Calidad

Gloria I. Puerta Q., Ing. Química, Ing. Alimentos M.Sc.
Diego Antonio Zambrano F., Ing. Químico
Andrés Mauricio Villegas H., Ing. Agrónomo M.Sc.

Gestión de Recursos Naturales y Conservación

Nelson Rodríguez V., Ing. Químico Ph.D.
Jorge Eduardo Botero E., Ecólogo Ph.D.
Claudia Rocío Gómez P., Tecnóloga Química
Gloria María Lentijo J., Bióloga M.Sc.

Fisiología Vegetal

Claudia Patricia Flórez R., Ing. Agrónomo Ph.D.
Luis Fernando Gómez G. Ing. Agrónomo Ph.D.
Aristóteles Ortiz, Químico M.Sc.
Claudia Yoana Carmona G., Ing. Agrónomo
Lizardo Norbey Ibarra R., Ing. Agrónomo
Ángela María Castaño M., Ing. Agrónomo

Suelos

Siavosh Sadeghian K., Ing. Agrónomo Ph.D.
Hernán González O., Ing. Agrónomo M.Sc.
Luis Fernando Salazar G., Ing. Agrónomo M.Sc.
Édgar Hincapié G. Ing. Agrónomo Ph.D.
Luz Adriana Lince S., Ing. Agrónomo, Geóloga

Fitotecnia

Jaime Arcila P., Ing. Agrónomo Ph.D.
Víctor Hugo Ramírez B., Ing. Agrónomo M.Sc.
Argemiro Miguel Moreno B., Ing. Agrónomo M.Sc.
Francisco Fernando Farfán V., Ing. Agrónomo M.Sc.

Mejoramiento Genético

Hernando Alfonso Cortina G., Ing. Agrónomo M.Sc.
José Ricardo Acuña Z., Biólogo Ph.D.
Juan Carlos Herrera P., Biólogo Ph.D.
María del Pilar Moncada B., Ing. Agrónomo Ph.D.
Húver Elías Posada S., Ing. Agrónomo Ph.D.
Diana María Molina V., Bacterióloga Ph.D.
Carolina Pérez H., Ing. de Alimentos Esp.
Claudia Tabares A., Ing. Química

Entomología

Pablo Benavides M., Ing. Agrónomo Ph.D.
Carmenza E. Góngora B., Microbióloga Ph.D.
Zulma Nancy Gil P., Ing. Agrónomo Ph.D.
Clemencia Villegas G., Ing. Agrónomo M.Sc.
Luis Miguel Constantino C., Biólogo Entomólogo M.Sc.
Marisol Giraldo J., Ing. Agrónomo M.Sc.
Aníbal Arcila M., Ing. Agrónomo

Agroclimatología

Álvaro Jaramillo R. Ing. Agrónomo M.Sc.
Andrés Javier Peña Q., Ing. Agrónomo M.Sc.

Fitopatología

Álvaro León Gaitán B., Microbiólogo Ph.D.
Marco Aurelio Cristancho A., Microbiólogo Ph.D.
Bertha Lucía Castro C., Ing. Agrónomo M.Sc.
Carlos Alberto Rivillas O., Ing. Agrónomo M.Sc.

Sostenibilidad

Juan Mauricio Rojas A., Ing. Alimentos, M.Sc.
Gloria Esperanza Aristizábal V., Lic. Bióloga y Química, M.Sc.
María Cristina Chaparro C., Química
Angélica María Campuzano C., Ing. de Alimentos Esp.
Mario López L.

Ingeniería Agrícola

Carlos Eugenio Oliveros T., Ing. Agrícola Ph.D.
César Augusto Ramírez G., Arquitecto M.Sc.
Juan Rodrigo Sanz U., Ing. Mecánico Ph.D.
Aída Esther Peñuela M., Ing. Alimentos M.Sc.
Paula Jimena Ramos G., Ing. Electrónico M.Sc.
Jenny Paola Pabón U., Ing. Agrícola

Experimentación

Carlos Gonzalo Mejía M., Admr. de Empresas Agropecuarias
José Raúl Rendón S., Ing. Agrónomo
Hernán Darío Menza F., Ing. Agrónomo
Carlos Mario Ospina P., Ing. Forestal
Diego Fabián Montoya, Agrónomo
Jorge Camilo Torres N., Ing. Agrónomo
Jhon Félix Trejos P., Ing. Agrónomo
José Enrique Baute B., Ing. Agrónomo
Pedro María Sánchez A., Ing. Agrónomo

Biometría

Rubén Darío Medina R., Estadístico M.Sc.



Cenicafé

Ciencia, tecnología
e innovación
para la caficultura
colombiana

www.cenicafe.org