

De la
GEOLOGÍA
al
CAJÉ



De la
GEOLOGÍA
al
CAFFÉ

Ministerio de Minas y Energía

Germán Arce Zapata
Ministro de Minas y Energía

Carlos Andrés Cante Puentes
Viceministro de Minas

Servicio Geológico Colombiano

Oscar Eladio Paredes Zapata
Director General

Gloria Prieto Rincón
Directora de Recursos Minerales

Equipo de Trabajo

Catalina Sánchez Caballero
Juan Carlos Silva Tamayo
Karina Andrea Portilla Mendoza
Geóloga y pintora

Gloria Prieto Rincón

Apoyo

Juan Carlos Fonseca González
SIG

Karina Andrea Portilla Mendoza
Pinturas

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia

Roberto Vélez Vallejo
Gerente General

Hernando Duque Orrego
Gerente Técnico

Cenicafé

Álvaro León Gaitán Bustamante
Director

Equipo de Trabajo

Álvaro León Gaitán Bustamante
Siavosh Sadeghian Khalajabadi
Valentina Osorio Pérez

Apoyo

Luz Adriana Lince Salazar
Corrección de textos

Ángela Jaramillo Gaviria
Corrección de textos

Sandra Milena Marín López
Martha Sánchez Sarmiento
Hernán González Osorio
Imágenes

Edición y diagramación

Carolina Hernández, Edición general

Édgar Ordóñez, Corrector de estilo

Diana Paola Abadía Zapata, Diseño y diagramación de páginas internas

Leonardo Cuéllar, Diagramación

Karina Andrea Portilla Mendoza, Pintura de la carátula

Impresión

Imprenta Nacional de Colombia

Carrera 66 N.º 24-09

PBX: 457 8000

www.imprensa.gov.co

Bogotá, D. C., Colombia

© Servicio Geológico Colombiano y Cenicafé

ISBN: 978-958-59782-3-2

Bogotá, D. C., Colombia

Julio de 2018

De la
GEOLOGÍA
al
CAJÉ



PRÓLOGO

UN TRABAJO MANCOMUNADO QUE NOS ENTREGA EL MEJOR CAFÉ DEL MUNDO

Presidente de la República y Premio Nobel de Paz 2016

Son muchos saberes —innumerables las prácticas y enorme el conocimiento especializado— que confluyen para producir una tasa de ese inigualable y maravilloso café colombiano que disfrutamos a diario.

Este libro rinde testimonio sobre el saber de dos instituciones que con vocación de excelencia encarnan la evolución de las prácticas y la cultura cafeteras en nuestro país, desde la geología y la naturaleza.

Se trata, por un lado, del Servicio Geológico Colombiano y, por otro, del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).

El trabajo del Servicio Geológico Colombiano, además de ser un insumo fundamental para el crecimiento de la industria minera y petrolera colombianas, ha sido fundamental para el planeamiento del uso de la tierra, con el fin de prevenir desastres ocasionados por amenazas naturales, y para tomar decisiones orientadas a un uso sostenible de nuestros recursos naturales.

Cenicafé, por su parte, cumple una tarea muy importante en el impulso de tecnologías de punta para el cultivo del café.

El resultado no ha sido otro que una actividad agrícola generadora de divisas, que respeta el medio ambiente, y que ha promovido el crecimiento de la Colombia rural, consolidando la caficultura en un patrimonio social, económico y cultural que sigue presente en muchos municipios de Colombia.

El trabajo ininterrumpido de estas dos instituciones —con metas a largo plazo, una rigurosa aplicación del método científico, y el análisis objetivo de los datos— ha sido clave para que científicos colombianos especializados en las geociencias y los temas cafeteros sigan orientando el aprovechamiento de nuestra enorme riqueza. Estos logros son fruto de una política seria, orientada a un crecimiento económico soportado en la investigación, la innovación y la ciencia, elementos fundamentales para la consolidación de la paz y para seguir impulsando el desarrollo del país.

Este libro —producto del trabajo mancomunado del Servicio Geológico Colombiano y de Cenicafé— da cuenta de los avances en el conocimiento de la evolución natural del territorio y de los logros de la comunidad cafetera de Colombia.

Esta es una publicación muy especial para mí, pues durante más de cuatro décadas he estado del lado del gremio cafetero de Colombia.

Conocer nuestro territorio, saber lo que tenemos, es la clave para cuidarlo y utilizarlo de forma sostenible. Estoy seguro de que tanto el Servicio Geológico Colombiano como Cenicafé seguirán recorriendo esa senda de excelencia.

Juan Manuel Santos Calderón

PRESENTACIÓN

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

La semilla del libro "*De la geología al café*" fue plantada desde el año 2016, imaginado como un producto que enlazara el fascinante mundo de la geología con la más exquisita taza de café que todos los días saboreamos orgullosamente los colombianos. Hoy se puede apreciar esta hermosa obra gracias al esfuerzo conjunto entre dos entidades líderes, una en geología en el caso del Servicio Geológico Colombiano, y otra en café en el caso de Cenicafé, institución adscrita a la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

De la geología al café, describe el interesante universo geológico de Colombia, las condiciones climáticas y ambientales y las prácticas de los caficultores colombianos, que se conjugan y entrelazan para que pueda existir una deliciosa taza de café colombiano.

A lo largo del texto se invita al lector a degustar esta espléndida bebida con gusto de explorador, percibiendo a través de una línea de tiempo geológico, el largo camino de procesos naturales que han ocurrido desde la formación del planeta Tierra hasta el crecimiento de una pequeña planta que hoy produce granos de café, cosechados por manos campesinas que han dedicado su vida a cultivar la tierra.

En cada línea del texto se relatan asombrosas lecturas que enlazan un sin número de eventos naturales ocurridos durante millones de años, que han generado las condiciones geológicas, ambientales y geográficas óptimas para la producción de un café cuya excelente calidad, aroma y suavidad le han otorgado reconocimiento mundial.

El libro suscita muchas preguntas que, a lo largo de cuatro capítulos, son respondidas de manera sencilla, con un lenguaje preciso y didáctico, accesible a todo lector amante del buen café colombiano.

El capítulo 1, "*¿UNA TAZA DE CAFÉ? Colombia, tierra de café y caficultores*", narra cómo apareció el grano de café hace casi quinientos años y cómo ha ejercido una enorme influencia en la cultura colombiana desde su llegada al país. En este mismo capítulo se introducen conceptos básicos sobre los tipos de grano, especies y variedades de café, y se describen las condiciones ambientales que convergen para obtener una de las mejores tazas de café del mundo.

En el capítulo 2, "*MILLONES DE AÑOS en una taza de café*", se describe el planeta Tierra como un sistema en el que los elementos naturales interactúan en un engranaje perfecto, sumergiendo al lector hacia las profundidades de la Tierra para conocer

como su funcionamiento interno ha dado lugar a imponentes paisajes naturales que hoy moldean el territorio colombiano. Seguidamente se describen los procesos que han ocurrido en la superficie de la tierra y que han originado el universo de los suelos que hoy albergan los cultivos cafeteros del país. En este capítulo también se expone la evolución geológica de Colombia, haciendo énfasis en los momentos más relevantes que han modelado la configuración geográfica actual del territorio.

En el capítulo 3, "UN CAFÉ EN LAS MONTAÑAS", se especifican particularidades de la geología y las características de los suelos de las diferentes zonas cafeteras de Colombia. Con una mirada más detallada a la evolución geológica natural del territorio, se resaltan rasgos geológicos y geomorfológicos de las diferentes zonas cafeteras del país.

El capítulo 4, "LA HUELLA DEL CAFÉ", describe la belleza del paisaje cultural cafetero, que lo ha hecho acreedor del título de *patrimonio de la humanidad*. En este capítulo final se presentan las características de los cafés de origen y se señalan aspectos socioeconómicos, prácticas culturales y agroindustriales de las diferentes zonas cafeteras.

De la geología al café es un texto de referencia para los interesados en conocer la evolución natural expresada en los procesos geológicos que han modelado el territorio colombiano actual, y también para los que buscan profundizar en los sistemas productivos que han conformado la base cafetera de la economía colombiana en los últimos dos siglos, que reflejan el empuje y dedicación de varias generaciones de colombianos y que hacen que tengamos un café único en el mundo que solo produce nuestro hermoso territorio.

Valga, pues, una invitación a sumergirse en esta interesante lectura, degustando un buen café colombiano.

Oscar Paredes Zapata
Director
Servicio Geológico Colombiano

PRESENTACIÓN

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

El café sigue siendo la imagen de Colombia para el mundo. Y no solo es por la calidad de su taza, por su sabor suave y por las miles de sensaciones que puede despertar en cada sorbo, sino también por la gente trabajadora y orgullosa que lo produce en más de la mitad de los municipios del país, por los ambientes húmedos, tropicales, llenos de naturaleza y de biodiversidad donde se cultivan los cafetos, y finalmente por las montañas de los Andes y sus suelos derivados de cenizas volcánicas, que hacen de la caficultura una actividad vital, presente desde las laderas bajas del Nudo de los Pastos, en el sur del país, que sube por las tres cordilleras que acompañan a los ríos Cauca y Magdalena, y que llega hasta las orillas del mar Caribe, en las alturas de la Sierra Nevada.

El placer de beber una taza de café colombiano resume en una experiencia de pocos minutos los millones de años que le ha tomado a la Tierra moldear la geografía y la composición mineral de nuestros suelos para generar el ambiente donde los cafetales pueden arraigarse y nutrirse por décadas, los miles de años que le ha llevado a la fauna y a la flora locales colonizar y desarrollar ecosistemas propios que acompañan a las plantas de café, los cientos de años que generaciones de caficultores han invertido en adaptar una planta originaria de Etiopía a las condiciones particulares de Colombia, utilizando los recursos locales y llevando de manera casi obstinada el cultivo a los sitios más remotos de las sierras, cadenas y macizos de nuestra orografía, y las muchas horas que deben dedicarse a recolectar y beneficiar los frutos de café en las fincas hasta generar unos granos de café pergamino que aguardan una tostación y una preparación que condensan ese múltiple esfuerzo de tanto tiempo.

El conocimiento de los investigadores del Servicio Geológico Colombiano y del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) se ha puesto de manifiesto en *De la geología al café* para darle mucha profundidad al componente geográfico que define al café de Colombia, y que en buena parte determina no solo la materia constituyente del suelo, factor clave para una nutrición adecuada de las plantas, sino también su estructura, que juega un papel importante en la movilidad y disponibilidad del agua, que en nuestro país es un actor permanente en los sistemas de producción por las lluvias distribuidas a lo largo del año y por su efecto erosivo en las laderas. En el contenido de este libro se puede ver también el efecto de la diversidad de los suelos colombianos, debido a la historia de la formación de nuestras cordilleras, lo que añade un ingrediente más de diferenciación de nuestro café por su origen geográfico.

Finalmente se examinan los elementos determinantes de la calidad del café, que por el mismo paisaje y la cultura tradicional tiene que ver con el trabajo y la dedicación de nuestros productores para entregarle al mundo un producto único, de excelencia y de gran calidad.

En estos momentos en que la Federación Nacional de Cafeteros celebra múltiples aniversarios como institución nacional representante del gremio caficultor y, en el ámbito regional, en cabeza de los comités departamentales y de Cenicafé, su Centro de Investigación Científica que celebra ochenta años de su creación, es un verdadero gusto entregar esta obra en un trabajo de colaboración con el Servicio Geológico Colombiano, para que sirva de referencia a productores y consumidores cada vez más ávidos de información para promover y dar valor agregado a nuestro café, para que siga siendo el producto insignia de Colombia.

Roberto Vélez Vallejo
Gerente General
Federación Nacional de Cafeteros



Tradición cafetera en las montañas colombianas.
Fotografía de la Federación Nacional de Cafeteros



CAPÍTULO 1

¿UNA TAZA DE CAFÉ? COLOMBIA, TIERRA DE CAFÉ Y CAFICULTORES

- 19** La semilla del cafeto
- 23** Un poco de historia
- 25** Sobre las variedades y la calidad
- 26** Prácticas cafeteras
- 28** Privilegios tropicales
- 31** Cosechando café
- 32** De cereza a pergamino
- 34** La familia cafetera colombiana



CAPÍTULO 2

MILLONES DE AÑOS EN UNA TAZA DE CAFÉ

- 43** El sistema tierra
 - 46 Geósfera
 - 52 Hidrósfera
 - 55 Criósfera
 - 57 Atmósfera
 - 57 Biósfera
- 60** De las rocas al maravilloso universo de los suelos
 - 60 ¿Qué es un suelo?
 - 60 ¿Cómo se forma un suelo?
 - 63 El perfil del suelo
 - 65 Procesos pedogenéticos
 - 66 Tipos de suelos
 - 66 Nutrientes de los suelos cafeteros colombianos
- 75** Haciendo Colombia: una historia geológica
 - 75 Generalidades de la geología colombiana
 - 81 Evolución geológica de Colombia



CAPÍTULO 3

UN CAFÉ EN LAS MONTAÑAS



CAPÍTULO 4

LA HUELLA DEL CAFÉ

-
- 91** Las Montañas de Oriente
(Norte de Santander, Santander,
Boyacá, Cundinamarca, Meta,
Tolima y Huila)
91 Las rocas
105 Los suelos cafeteros
- 110** Los Picos Centrales
(Antioquia, Quindío, Risaralda,
Caldas, Tolima y Valle del Cauca)
110 Las rocas
122 Los suelos cafeteros
- 128** Las Altas Cumbres del Caribe
(Sierra Nevada de Santa Marta
y Serranía del Perijá)
132 Las rocas
135 Los suelos cafeteros
- 138** Aromas del Sur
(Cauca, Nariño, Huila y Putumayo)
138 Las rocas
141 Los suelos cafeteros

- 146** Paisaje cultural cafetero, patrimonio
de la humanidad
- 152** Proceso social derivado del desarrollo
cafetero y el impacto económico
- 155** Cafés de origen
- 158** Elementos determinantes
de la calidad del café
159 Factores ambientales
160 Variedad
160 Cosecha
162 Beneficio
- 168** Evaluación de la calidad del café
169 Defectos físicos del café
170 Calidad sensorial del café
172 Tostión del café
172 Molienda y preparación del café





CAPÍTULO 1

¿UNA TAZA DE CAFÉ?

Colombia, tierra de
café y caficultores

Álvaro León Gaitán Bustamante
Cenicafé



El café es el producto más conocido de la tierra colombiana. Desde la primera exportación, registrada en 1835, Colombia ha sido la fuente por excelencia de cafés suaves lavados a escala mundial. Los cafés colombianos no solo son reconocidos internacionalmente por su calidad, sino también admirados por la identidad de sus productores, por su cultivo sostenible en las imponentes laderas de los Andes, por su procesamiento amigable con el ambiente y por el beneficio en el tejido social del país. Esta espléndida bebida congrega e invita a socializar, sin importar la hora ni el lugar.

LA SEMILLA DEL CAFETO

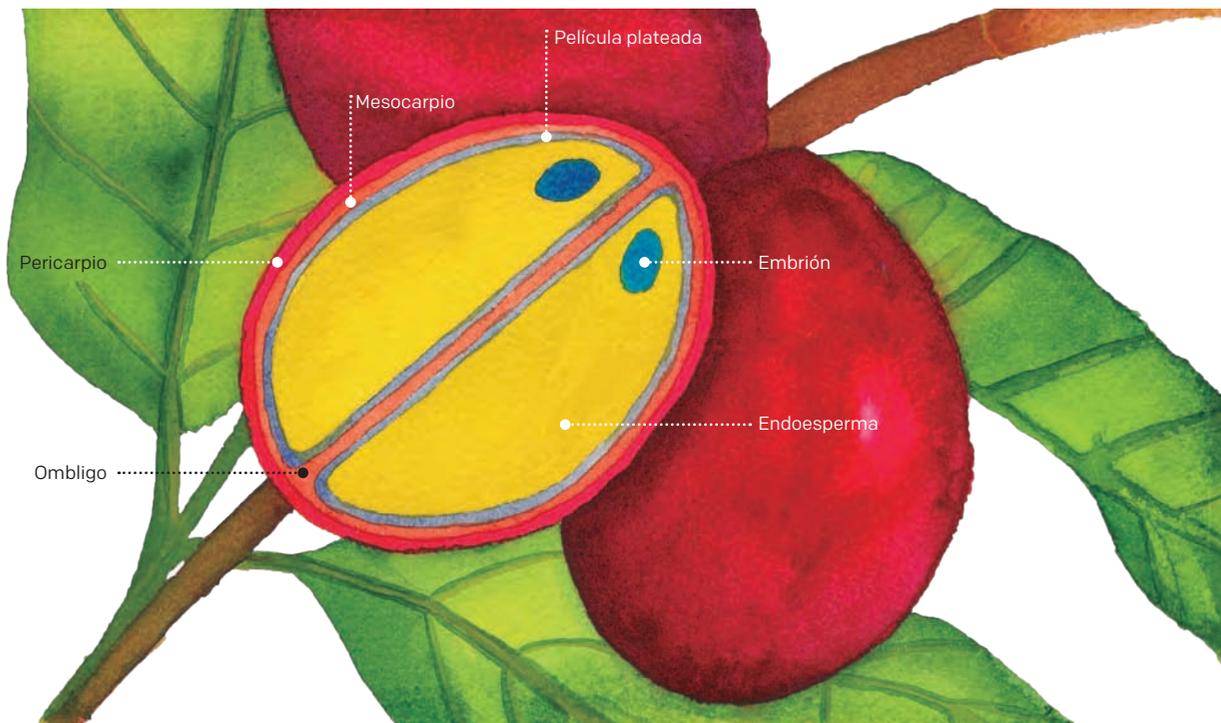
La bebida de café es una infusión preparada a partir de su semilla, previamente tostada. La semilla de café es una nuez alargada y plano-convexa, cuyas dimensiones pueden variar entre 10 y 18 mm de largo y entre 6.5 y 9.5 mm de ancho. Cada semilla tiene una grieta muy característica que cruza longitudinalmente su cara interna, conocida como "*sutura coffeanum*". La semilla está constituida por el embrión, que se encuentra ubicado en la cara abultada del grano y es recubierto por el endospermo, donde se almacenan proteínas, azúcares, aceites y alcaloides como la cafeína. Estos componentes confieren a la bebida sus propiedades organolépticas, es decir, las que pueden ser percibidas por nuestros sentidos.

El endospermo está cubierto por una capa delgada y brillante de células, denominada "*pe-*

lícula plateada". Esta capa a su vez está envuelta por el pergamino llamado *endocarpio*, que le confiere la resistencia estructural a la semilla.

Normalmente, cada cereza de café tiene dos semillas rodeadas por la pulpa o cáscara (el pericarpio). La cáscara presenta dos capas, una interna carnosa llamada *mesocarpio*, y una externa, el *exocarpio*. Los constituyentes del pericarpio son los que le dan el color al fruto de café: verde cuando contiene principalmente clorofila y rojo cuando predomina el contenido de cianidina, que indica su estado de maduración.

Los frutos de café se desarrollan en los nudos, donde se bifurcan las ramas del cafeto. Estos son producidos solo una vez. De esta manera, los nuevos frutos deben producirse en nuevos nudos, que van apareciendo tanto en las puntas de las ramas, a una tasa aproximada de un nudo por mes, como en nuevas ramas que van creciendo a



+ Estructura de un fruto de café.
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza

partir del tronco del arbusto (ramas primarias) o de ramificaciones de ramas ya existentes (ramas secundarias). En el ambiente tropical colombiano, el proceso de desarrollo de un fruto, desde la floración hasta la maduración, se toma en promedio 260 días, dependiendo de las condiciones climáticas, en particular de la temperatura y la disponibilidad de agua.

La calidad de una bebida de café depende de varios factores que, en conjunto, resultan en una infusión balanceada, con cuerpo, dulzor y distintos niveles de acidez. Estos factores dependen de la variedad cultivada, el manejo agronómico, la interacción con el clima, la calidad de la cosecha, el proceso de beneficio, el almacenamiento y la tostión (torrefacción), y finalmente, de la misma preparación para el consumidor final.

Los caficultores colombianos han adquirido prestigio mundial por cultivar café en las laderas de las montañas. Este café es producido de manera casi artesanal, utilizando el proceso de secado, y da lugar al llamado “café pergamino seco”. A partir de ese momento, el café se comercializa y trilla para que la industria torrefactora lo ponga en la mesa de millones de personas que día a día degustan una bebida estimulante y rica en aroma y sabores.

Considerando la variedad de café cultivada como el primer factor que define la calidad, el mercado del café se desarrolló internacionalmente a partir de dos especies: *Coffea arabica*, que produce cafés suaves o arábigos, asociados a lugares con temperaturas medias de 22 °C, y *Coffea canephora*, productora de los cafés robustos, mucho más rústicos y adaptados a climas más calientes.



Disposición de los nudos donde crecen los frutos a lo largo de las ramas en plantas de café. A medida que crece la rama se generan nuevos nudos con frutos de café.
Fotografía de Cenicafé





CICLO DEL CAFÉ



+ Ciclo del café

DIFERENCIAS ENTRE LAS VARIEDADES ARÁBICA Y ROBUSTA



	ARÁBICA	ROBUSTA
Sabor	Refinado con alta acidez y complejidad.	Fuerte, que se compara con caucho quemado.
Cafeína	1% en peso de cafeína, aproximadamente.	2% en peso de cafeína, aproximadamente.
Elevación	Crece mejor en zonas de mayor altitud.	Crece mejor en zonas de menor altitud.
Producción	70,98 millones de sacos exportados globalmente.	41,86 millones de sacos exportados globalmente.

+ Diferencias entre las variedades arábica y robusta. Adaptado y modificado de International Coffee Organization

UN POCO DE HISTORIA

Colombia tomó la ruta de los cafés suaves cuando las primeras semillas de *Coffea arabica* arribaron, a finales del siglo XVIII, provenientes del Caribe, adonde habían llegado luego de una larga migración de más de quinientos años desde su sitio de origen, en lo que hoy es Etiopía y Sudán del Sur, pasando por la península arábiga (Yemen) y los jardines botánicos de Ámsterdam y París. Fueron los holandeses los encargados de esparcirlo por la India, Ceilán y el Caribe.

A principios del siglo XVI, un oficial de la Marina francesa logró adquirir y preservar una planta

de café, que llevaría en su viaje de regreso a las Américas. A partir de este momento la planta fue cultivada en las islas del Caribe y comenzó a expandirse por nuestro continente. A lo largo de este viaje no hubo una marcada diversidad genética, y el resultado fue la presencia de plantas muy similares entre sí en todas las plantaciones, y no solo de Colombia, sino del continente americano. Así conformó una variedad conocida como *Típica*, que luego localmente sería denominada *pajarito* o *nacional*.

Una segunda fuente de semillas de *Coffea arabica* provino de la isla Reunión o Bourbon, una colonia francesa en el océano Índico. Esta



Esquema temporal de la migración del café hasta la llegada a nuestro territorio.

Adaptado y modificado de Specialty Coffee Association of America:

<https://store.sca.coffee/products/the-historic-distribution-of-coffee-arabica?variant=14724490054>

Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza

variedad, castellanizada como *Borbón*, se sembró abundantemente en Brasil y se conocería como "oro verde". La variedad Borbón se diferencia de la variedad Típica por ser más productiva, con un menor tamaño de los granos, pero con similar calidad potencial de la bebida. Estas variedades fundadoras se caracterizan por tener un porte alto: alcanzan alturas de tres metros al cumplir 24 meses de edad, cuando producen su primera cosecha significativa. Estas plantas pueden producir frutos por fecundación con su propio polen, una característica denominada *autogamia*, que resulta en cultivos muy homogéneos, ya que las plantas son muy parecidas entre sí.



+ Variedades de *Coffea arabica* de porte alto (típica, arriba) y de porte bajo (Colombia, abajo).
Fotografías de Cenicafé



+ Fructificación en la variedad Castillo. Departamento del Valle.
Fotografía de Cenicafé

☪ SOBRE LAS VARIEDADES Y LA CALIDAD

Un cambio importante en la cultura del café se dio con la introducción de la variedad caturra, que resultó de una mutación natural de la variedad borbón, encontrada en plantaciones de Brasil. Esta variedad se caracteriza por presentar distancias más cortas entre las ramas y entre los nudos en las ramas, lo que produce plantas más compactas y de menor altura (1.5 metros) al culminar su desarrollo a los 24 meses de edad.

Estas condiciones permiten sembrarlas en mayor cantidad por hectárea y también facilitan la recolección de frutos a mano, lo que resulta en un aumento considerable de la productividad. La

variedad caturra permitió la revolución verde de la caficultura colombiana, que consistió en una combinación de arbustos de porte bajo con mayores densidades de siembra (hasta 10000 plantas por hectárea), regulación de la luminosidad y aplicación de fertilizantes sintéticos al suelo.

El panorama de las plantaciones de café en Colombia cambiaría nuevamente con la llegada de la roya del cafeto, enfermedad causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, que tiene un efecto devastador sobre las plantas, ya que les hace perder gran cantidad de hojas. La roya impide que los granos adquieran los nutrientes sintetizados en las hojas, necesarios para su desarrollo productivo y saludable.

Para la caficultura, la detección del primer lote de café afectado por la roya, en septiembre

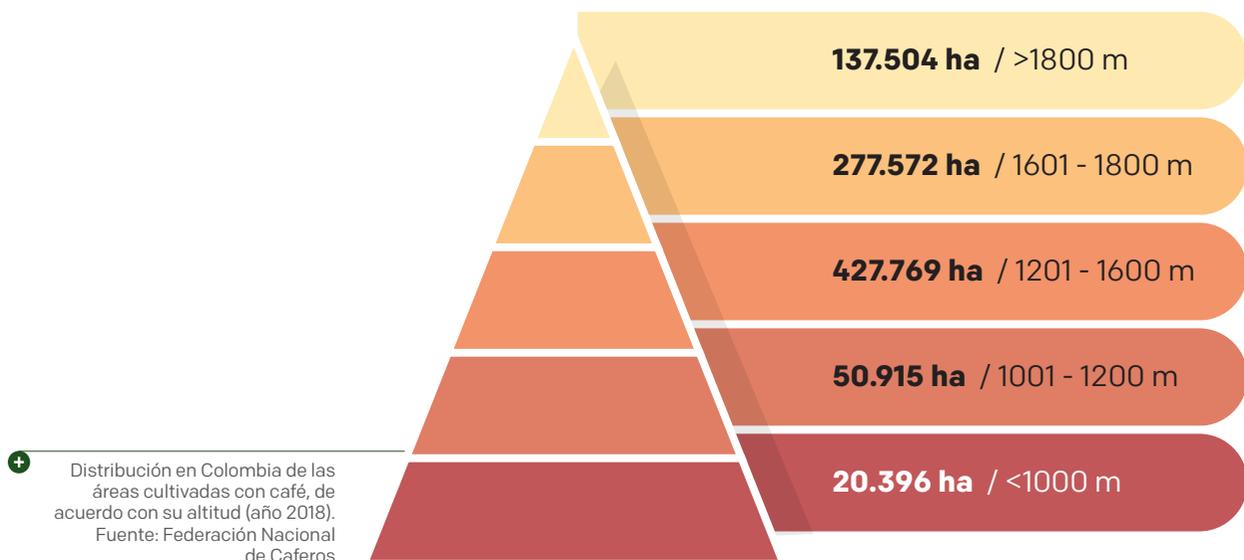
de 1983, significó el inicio de fumigaciones (aspersiones) de fungicidas basados en cobre para controlar el hongo. Pero fue principalmente la adopción de variedades resistentes a la enfermedad, como la variedad Colombia (1982), la variedad Castillo general, la Castillo regionales (2005) y, recientemente, la variedad Cenicafé 1 (2016), lo que marcó el uso de la biodiversidad como herramienta para obtener resistencia durable a la roya del cafeto. La mezcla de plantas genéticamente diversas ayuda a controlar y disminuir el ataque del hongo *Hemileia vastatrix* a los cafetales. Esta estrategia implica que morfológicamente las plantas puedan diferir en características como el color de los brotes de hojas, los ángulos de inserción de las ramas y la altura a los 24 meses de edad. Sin embargo, ha ayudado a disminuir substancialmente el uso de fungicidas en los cafetales en los últimos 35 años.

Para comienzos del 2018, el 50.5% de las 904000 hectáreas sembradas con café en el país correspondían a plantaciones de variedad Castillo general y sus regionales, el 26,5% comprendía la variedad Colombia, y el 19% restante estaba sembrado con variedad caturra, con muy pocas hectáreas cultivadas con las variedades de porte alto típica y borbón.

PRÁCTICAS CAFETERAS

El segundo factor que influye en la calidad del café es el manejo agronómico, y en este aspecto Colombia ha tenido, durante toda su historia cafetera, lo que se ha denominado una “*caficultura ambientalmente sostenible*”. Para comenzar, los cultivos son ubicados en lugares con rangos de temperaturas óptimos para los cafés arábigos (mínimo de 14 y máximo de 28 °C) a lo largo las laderas montañosas, cuya altura oscila entre los 1100 y los 2200 m, lo cual obliga a manejar de manera cuidadosa el suelo, por ser un recurso difícilmente renovable.

Los suelos de Colombia son muy ricos y diversos, pero también son muy sensibles a los efectos erosivos del agua y el viento, si no se manejan de manera adecuada, especialmente en la región andina. En la preservación de los suelos intervienen prácticas de cultivo como la siembra en curvas a nivel, la siembra en triángulo, el uso de árboles y otras barreras que evitan deslizamientos de masas rocosas, así como el manejo integrado de otras especies no arbóreas que comparten el nicho ecológico donde crece el café, y que genéricamente se conocen como *arvenses* (plantas



silvestres). La caracterización de arvenses de poca o ninguna competitividad con la planta de café permitió mantenerlas en el sistema de producción, ya que sus raíces ayudan a retener el suelo conteniéndolo como en una malla, y sus hojas y frutos sirven de albergue principal o alternativo a miles de especies de microorganismos e insectos. De esta forma, con una estrategia de manejo integrado de arvenses se logra pro-

teger el suelo y se reduce el uso de herbicidas, lo cual se traduce en un beneficio económico y ecológico.

Con un enfoque muy similar, Colombia está utilizando el concepto de manejo integrado de plagas y enfermedades, donde se aplican de manera racional fungicidas y plaguicidas de síntesis química, y con apoyo en otras herramientas complementarias entre las que se encuentran:

Control cultural

A través del manejo de sombríos, del manejo integrado de arvenses o plantas silvestres, fertilizaciones adecuadas, repases en la cosecha (limpieza del cafetal)

Control biológico

Haciendo uso de enemigos naturales como insectos parasitoides, hongos entomopatógenos y micorrizas (término utilizado para la asociación que existe entre las hifas de los hongos y las raíces de las plantas)

Control genético

Que corresponde a variedades resistentes a enfermedades, en particular la roya del cafeto.

Este manejo integrado es muy importante en sistemas de producción en los que el caficultor vive con su familia en áreas inmediatamente aledañas a los cultivos de café, donde es común encontrar cultivos de seguridad alimentaria (plátano, maíz, frijol, frutales), así como animales de cría, que se exponen directamente al contacto con los productos químicos aplicados. Por otra parte, la dependencia exclusiva de pesticidas para con-

trolar las plagas y enfermedades (problemas fitosanitarios) trae asociados varios problemas, pues no solo aumenta los costos de producción, sino también el riesgo de que los organismos que se intenta controlar desarrollen resistencia, sin olvidar que también existe la posibilidad de que los granos de café queden impregnados con trazas de esas moléculas y se sobrepasen los niveles permitidos por los mercados internacionales.

PRIVILEGIOS TROPICALES

El tercer factor que debe considerarse en la calidad de la bebida es el clima. A este respecto, Colombia se encuentra ubicada en el denominado *cinturón del café*, una zona que le da la vuelta al mundo y que se extiende 25° al norte y 25° al sur de la línea del ecuador, donde se encuentran todas las regiones productoras de café, incluyendo el sur de China (Yunán) y el norte de Australia (Queensland).

Por su ubicación ligeramente al norte de la línea del ecuador y la presencia de las regiones montañosas que dan como resultado los más bellos y extremos paisajes, Colombia es el país con mayor similitud geográfica a Etiopía, sitio de ori-

gen del café. Ante la ausencia de estaciones en las zonas tropicales, las montañas y la distribución de las lluvias son la fuente de la diversidad en la oferta ambiental, lo cual genera no solamente rangos amplios de temperatura, de acuerdo con la altitud, sino también condiciones que determinan patrones locales de iluminación, humedad y lluvias, así como una composición y estructura de los suelos que varía en distancias relativamente cortas. En este último aspecto, Colombia cuenta con un factor adicional, pues en las entrañas de las imponentes montañas andinas se gestan los más exuberantes volcanes, cuyas cenizas cubren extensas regiones, sumando variabilidad a las características de los suelos usados para producir café.



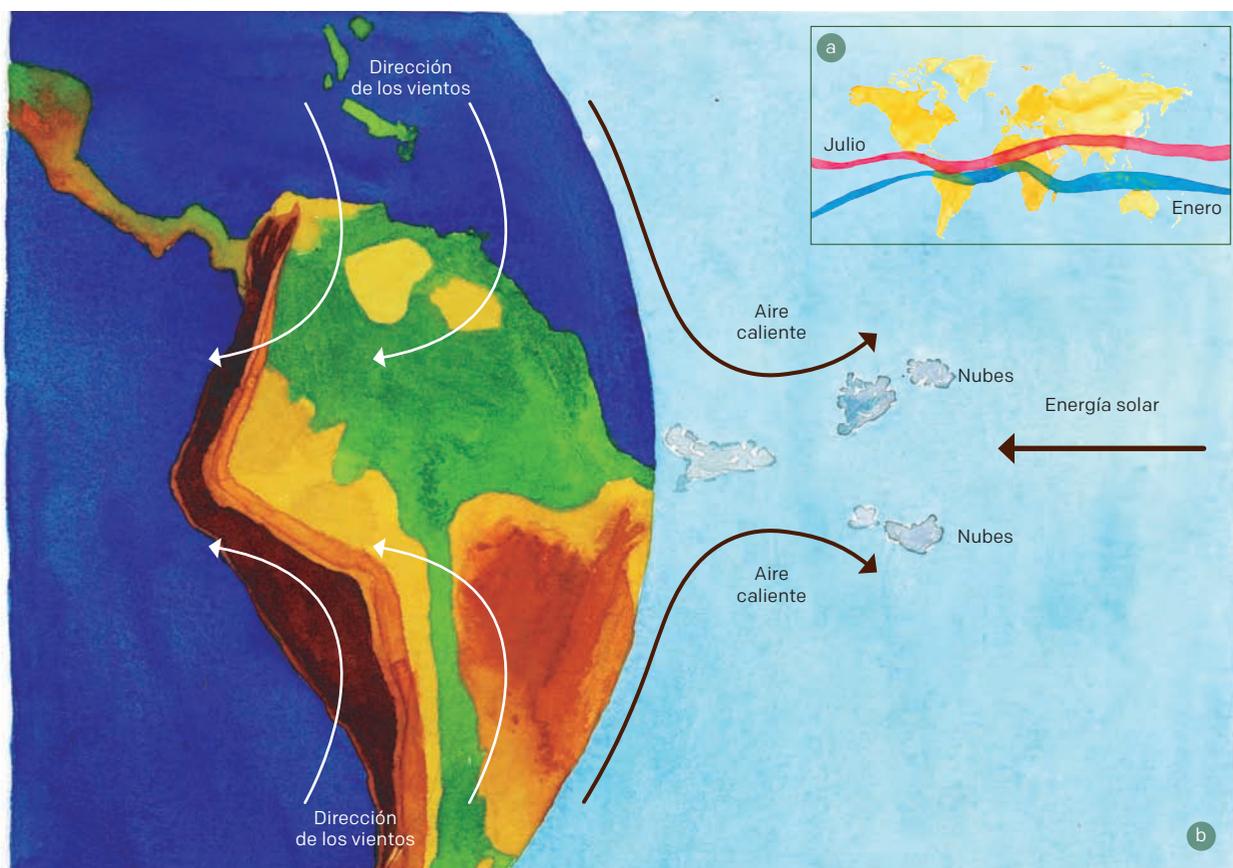
Cinturón del Café donde se observa la distribución de las zonas cafeteras en el mundo.
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza

La distribución de las lluvias en Colombia está gobernada por el recorrido anual de la zona de confluencia intertropical (ZCIT), un frente originado por el encuentro de la atmósfera del hemisferio norte y la del hemisferio sur en la región ecuatorial, que arrastran masas de humedad que finalmente se precipitan como lluvia. La ZCIT se ubica en el sur del país al iniciar el año y se desplaza hacia el norte, hasta llegar a la costa caribe, hacia mitad de año, para comenzar su retorno al sur. Este desplazamiento tiene dos consecuencias en cuanto a los períodos de lluvias y de sequías:

1. Divide al país en tres zonas, según su distribución de precipitación: una monomodal en el sur, donde las lluvias principales ocurren en el primer semestre del año; una bimodal,

hacia el centro del país, con dos periodos de lluvia importantes en abril-mayo y en noviembre-diciembre, y una zona norte monomodal, con altas precipitaciones en el segundo semestre del año. El comportamiento de la zona norte se extiende también a la vertiente oriental de la cordillera Oriental, influida por la Orinoquia y la Amazonia.

2. El movimiento latitudinal de la ZCIT sobre Colombia es uno de los más estrechos en el mundo, por lo que el país no experimenta periodos secos muy marcados, como los que ocurren en Brasil o Centroamérica. Este hecho incide en la floración de las plantas de café que, ante la presencia continua de lluvias, se dispersa en varios eventos a lo largo del año, reduciendo la ocurrencia de cosechas, concentradas



+ a. Localización de los vientos intertropicales a lo largo de la ZCIT y su trayectoria por nuestro país durante los meses de julio y enero. Nótese cómo su posición cambia a lo largo del año.
b. Dinámica de los vientos, formación de nubes y ocurrencias de lluvias en la ZCIT
a. Tomado y modificado Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/File:ITCZ_january-july.png
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza

nueve meses después, y obliga a realizar una recolección selectiva de cerezas maduras de café, pues se pueden encontrar frutos en diferentes estados de desarrollo en una misma rama que ha tenido numerosos eventos de floración.

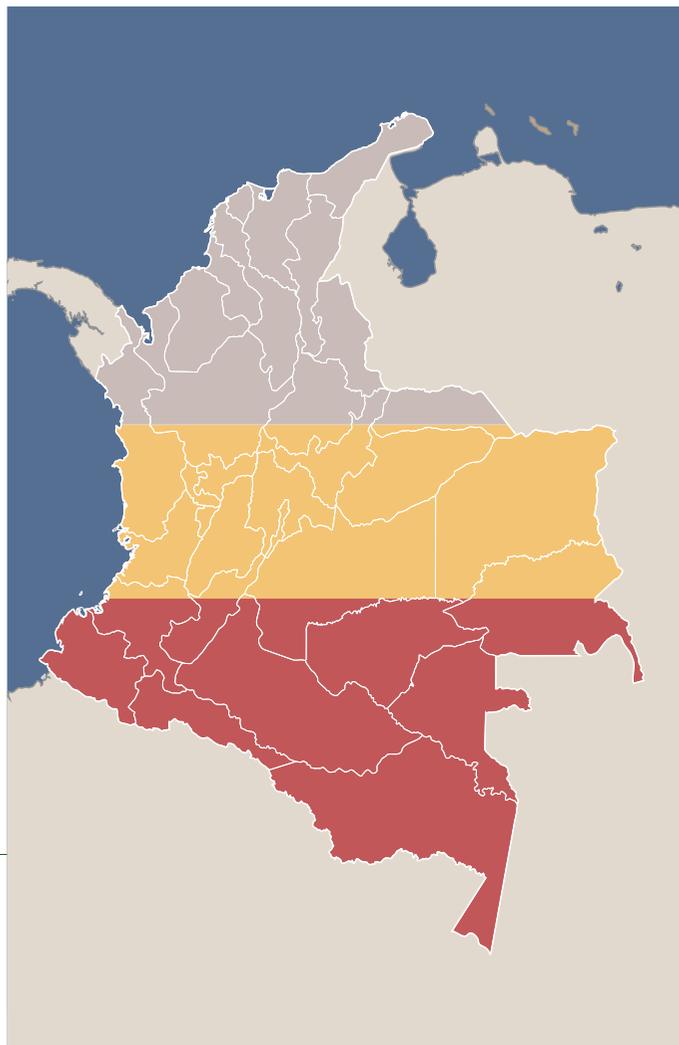
La ausencia de extensos periodos secos favorece la dispersión y también vuelve al cafeto vulnerable a la roya, lo que hace de Colombia una región muy susceptible al ataque de esta enfermedad.

Sin embargo, de esta situación se deriva un beneficio para los amantes de una buena taza de café: justamente esta distribución de lluvias

a lo largo del país permite producir café fresco para el mundo durante todo el año, lo que hace muy apreciado al grano colombiano.

La ZCIT no es el único factor que determina las condiciones climáticas de la zona cafetera colombiana. Por su ubicación geográfica en la esquina nororiental suramericana, Colombia está influida por el mar Caribe, por las llanuras de la Orinoquia, por la humedad de la Amazonia, y especialmente por los fenómenos que se generan en el océano Pacífico, en particular, las oscilaciones de El Niño y Decadal del Pacífico.

+ Distribución de los periodos húmedos y secos en las tres grandes zonas cafeteras colombianas: norte, centro y sur.
Fuente: modificado de Cenicafé



	Zona norte	Zona centro	Zona sur
Enero	● (seco)	● (seco)	● (húmedo)
Febrero	● (seco)	● (seco)	● (húmedo)
Marzo	● (seco)	● (húmedo)	● (húmedo)
Abril	● (seco)	● (húmedo)	● (húmedo)
Mayo	● (húmedo)	● (húmedo)	● (húmedo)
Junio	● (húmedo)	● (seco)	● (seco)
Julio	● (húmedo)	● (seco)	● (seco)
Agosto	● (húmedo)	● (seco)	● (seco)
Septiembre	● (húmedo)	● (seco)	● (seco)
Octubre	● (húmedo)	● (húmedo)	● (húmedo)
Noviembre	● (húmedo)	● (húmedo)	● (húmedo)
Diciembre	● (seco)	● (húmedo)	● (húmedo)

COSECHANDO CAFÉ

El siguiente factor que influye en la calidad de la bebida es la calidad de la cosecha, que en Colombia se relaciona directamente con la selección de frutos maduros y sobremaduros en el momento de retirarlos de las ramas.

Este factor está determinado por la continua ocurrencia de lluvias en las zonas cafeteras, especialmente en la región central, que estimula al mismo tiempo el crecimiento vegetativo (nuevos nudos y nuevas hojas) y el crecimiento reproductivo (nuevos botones florales y frutos en diferentes estados de desarrollo).

La ausencia de floraciones y maduraciones sincronizadas en los árboles obliga a pasar varias veces por el mismo lote realizando una cosecha manual, durante la cual los recolectores identi-

can visualmente las cerezas en estados adecuados de maduración, en una labor que demanda mucha mano de obra y que constituye entre un 40 y un 50% de los costos de producción de café. Pases de cosecha en los que se presente un porcentaje de frutos verdes mayor que el 2.5% van a tener un potencial de bebida de calidad inferior, con defectos como suciedad, fermento, mal olor, tierra y otros.

Esta necesidad de realizar una cosecha selectiva, sumada a la ubicación de los cafetales en laderas con pendientes mayores al 30% y a la ocurrencia de lluvia durante los meses de maduración del grano, complica el movimiento de maquinaria en terrenos muy húmedos. Esto hace muy difícil la implementación de métodos de cosecha mecanizada o semimecanizada que reduzcan la necesidad de mano de obra y, por ende, los costos.



+ Grupo de recolectores en una cosecha de frutos maduros y sobremaduros de café

DE CEREZA A PERGAMINO

Finalmente, entre los factores que influyen en la calidad de la bebida, partiendo de su lugar de origen en las fincas productoras de café, se encuentra el proceso de beneficio, que consiste en transformar la cereza en dos granos de café pergamino seco.

En el mundo hay dos procesos básicos de beneficio de café: uno es el beneficio seco, muy común en sitios donde coincide la cosecha con periodos de humedad relativa baja y sin precipitaciones por espacio de varios días. En este caso,

la mezcla de frutos maduros, sobremaduros y secos (incluido un porcentaje de frutos verdes) se cosecha y se deja secar al sol hasta que la cáscara o pulpa deshidratada queda adherida a los granos de café. Este proceso es muy usado en Brasil, y su resultado son los llamados "café naturales".

Por otro lado, el beneficio húmedo, característico del café lavado colombiano, se inicia con la remoción mecánica de la cáscara en una despulpadora, que deja el grano de café desnudo, pero cubierto de una capa gelatinosa llamada *mucílago*. Tradicionalmente, este mucílago se remueve mediante una fermentación aeróbica realizada



Café tostado: granos de café después de la aplicación de calor, lo que potencializa el aroma y sabor.



Café verde: también llamado "café oro" "semilla" o "almendra" y se obtiene después de la remoción del pergamino durante la trilla. Con este se elabora el café tostado, el soluble y los extractos. Forma común en la que se exporta



Café pergamino seco: semilla del café protegida por el pergamino, que resulta después del beneficio y es el estado del grano en el cual lo cafeteros venden su café



Café y cereza: fruto maduro y es el estado óptimo en que debe ser recolectado para aprovechar su calidad.



Café molido: café resultante de la molienda antes de la preparación de la bebida, que puede ser de tipo grueso, fino y medio.





en horas de la noche por poblaciones de bacterias y levaduras, para lo cual los granos de café se sumergen en un tanque de agua. Hasta la década de los noventa, la fermentación y el lavado posterior en canales de correteo elevaban el consumo total de agua a 40 litros o más por cada kilogramo de café procesado. Sin embargo, a medida que las regulaciones ambientales se han vuelto más estrictas con el uso del agua, y los consumidores exigen menor afectación ambiental, se han desarrollado tecnologías como el tanque tina, el desmucilagador mecánico (Becolsub), que no requiere de fermentación, y la fermentación sin agua añadida (Ecomill®), que soportan el concepto del beneficio ecológico mediante la combinación de estrategias para consumir menos de 10 litros por kilogramo de café cereza.

Una vez lavado, el café contiene un 53% de agua, que lo hace un sustrato adecuado para la proliferación de microorganismos, en particular, hongos, que pueden afectar su calidad y su inocuidad cuando producen sustancias como las ocratoxinas. Por esta razón es necesario proceder de manera inmediata a reducir el porcentaje de humedad del grano, hasta llegar a un rango entre el 10 y el 12%. La forma más sencilla de secar el grano es usando la radiación solar y la energía natural del aire ambiente, lo que puede demandar entre quince y veinte días, dependiendo de las condiciones climáticas. Estas fuentes de calor se pueden aprovechar de manera más eficiente usando secadores parabólicos y tipo túnel, que reducen el tiempo en una tercera parte. Cuando los volúmenes o las condiciones climáticas hacen difícil el secado solar, se acude al secado mecánico, con tambos

(guardiolas) o silos secadores que funcionan con combustión de madera, cisco o gas, o, eventualmente, a métodos de secado que combinan la energía solar y procedimientos mecánicos para reducir, aún más, tiempos y costos.

Por su parte, la aplicación de buenas prácticas de beneficio, que contemplan el uso de instalaciones y equipos en adecuado estado de limpieza, además de fermentaciones y lavados en aguas que cumplan con las condiciones químicas y microbiológicas requeridas para el procesamiento de un producto destinado a consumo humano, contempla el retorno del agua utilizada al medio ambiente para permitir su reutilización. Con este fin, la caficultura de Colombia, además de reducir el volumen de agua requerido para el transporte de la pulpa, para el mismo despulpado y para el proceso de fermentación, ha utilizado procesos de descontaminación como el sistema de tratamiento modular anaerobio (STMA). Este sistema reduce el rango de contaminación de 115 gramo por kilogramo de frutos de demanda química de oxígeno, a un rango entre los 10 y 30 gramo por kilogramo de frutos, mediante la fermentación de las aguas de lavado, o "aguas mieles", en tanques y un tratamiento posterior en un lecho húmedo con plantas acuáticas.

En Colombia, luego de realizar el beneficio del café, el productor tradicionalmente vende el "café pergamino seco" a las cooperativas o a compradores privados, y estos proceden a remover tanto el pergamino, que corresponde al cisco o cascarrilla, como la película plateada (en total, un 20% del peso seco) mediante la trilla, para dejar el grano de "café verde" de exportación.



LA FAMILIA CAFETERA COLOMBIANA

Además de su calidad, el café de Colombia tiene otra gran particularidad: sus productores. Para 2018 se encontraban registradas 541000 familias productoras en el Sistema de Información Cafetera (SICA), quienes manejaban casi dos millones de lotes de café, que sumaban 904000 hectáreas, donde, entre 2015 y 2018, se han producido anualmente 14 millones de sacos de café verde de 60 kilos para el consumo local y mundial.

El 96% de los cafeteros colombianos produce en áreas menores de cinco hectáreas, y ocupan con café un 74% del área sembrada. Esto corresponde a una economía familiar en la que el productor aporta una gran parte de la mano de obra requerida para el cultivo, la cosecha y el beneficio del grano.

Por esto, en Colombia el panorama de las zonas productoras de café se compone de pequeños lotes de diferentes edades y densidades de siembra, acompañados de bosques y de guaduales que protegen las fuentes de agua y que le dan al paisaje una apariencia de colcha de retazos.

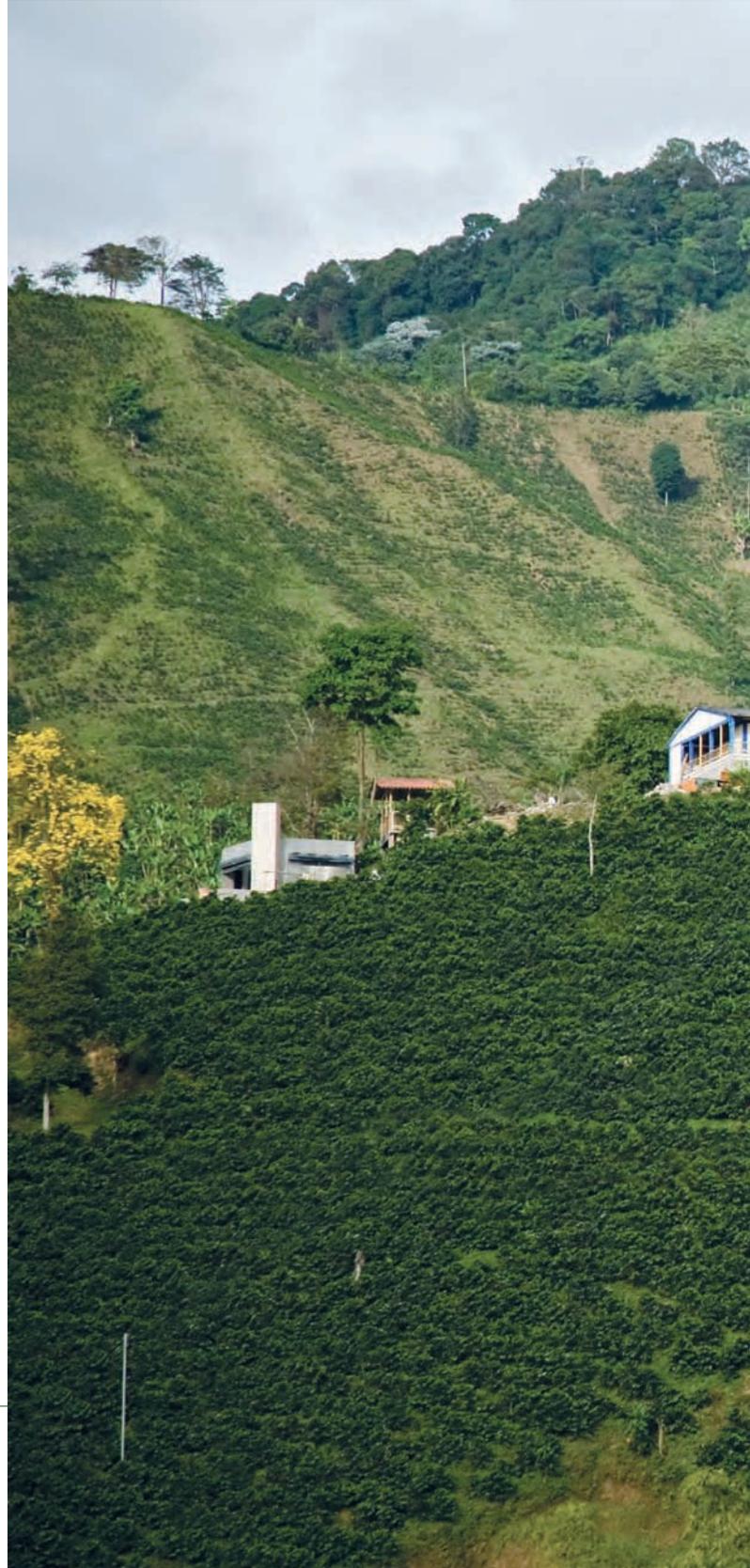
Colombia es un ejemplo para el mundo agrícola por la organización de su sector cafetero desde 1927, cuando se fundó la Federación Nacional de Cafeteros, una entidad sin ánimo de lucro que trabaja por el bienestar de los caficultores y sus familias, y que administra el Fondo Nacional del Café, un recurso público construido con la contribución de seis centavos de dólar estadounidense por cada libra de café verde exportada. Con estos recursos se ejerce la garantía de compra, un mecanismo ideado para brindar un precio justo y un pago inmediato en efectivo al productor. Este mecanismo asegura al caficultor la comercialización



Panorama típico de la caficultura de Colombia, con lotes de café menores de una hectárea, en diversos estados de renovación y entremezclados con fragmentos de bosque y zonas de protección de fuentes de agua.

Buena Vista, Quindío.

Fotografía de la Federación Nacional de Cafeteros





de su café en más de quinientos puntos de compra en todo el país, y con dos actualizaciones de precio diarias con base en la cotización del producto en la Bolsa de Nueva York. Igualmente, con los recursos del Fondo se financia la investigación científica, ajustada a las condiciones de Colombia, realizada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), que nutre de información el Servicio de Extensión Rural, un equipo especializado para motivar, instruir y apoyar al caficultor en la toma de decisiones respecto a sus sistemas productivos. Finalmente, el Fondo financia también la promoción del café

de Colombia en el exterior, actividad encabezada por un personaje icónico de la caficultura: Juan Valdez.

En su conjunto, la actividad económica generada por la caficultura es un factor de bienestar social en los 509 municipios donde se produce café en Colombia. Los más de 2000 millones de dólares que cuesta la producción anual de café se distribuyen en las zonas rurales, donde se cuidan para el futuro los recursos naturales que les permitirán, a la tierra colombiana y a sus caficultores, seguir produciendo un café de alta calidad para degustar en todo el mundo.



+ Familias cafeteras colombianas. (a) Familia en Antioquia, (b) Familia en norte de Santander y (c) Familia González Castaño. Fotografías de la Federación Nacional de Cafeteros





Fotografía de Cenicafé





Quebrada Corralitos en el volcán Nevado del Ruiz
Fotografía de Zoraida Chacón Ortiz,
Servicio Geológico Colombiano.



CAPÍTULO 2

MILLONES DE AÑOS

en una taza de café

Catalina Sánchez Caballero
Juan Carlos Silva Tamayo
Karina Andrea Portilla Mendoza
Gloria Prieto Rincón
Servicio Geológico Colombiano

Siavosh Sadeghian Khalajabadi
Cenicafé



Atmósfera

Biósfera

Criósfera

Hidrosfera

Litósfera

Litósfera

EL SISTEMA TIERRA

Nuestro planeta: la tierra es un cuerpo celeste en el que interactúan diferentes elementos a través de un sinnúmero de procesos. Para entender este gran sistema y la complejidad de los diferentes procesos que en él ocurren se requiere de un enfoque multidisciplinario que involucra una infinidad de conceptos químicos, físicos, biológicos y matemáticos.

Durante siglos, el hombre ha analizado los ritmos que marcan las dinámicas del sistema Tierra, así como los cambios abruptos o sutiles que afectan la estabilidad e interacción entre los diferentes subsistemas que lo conforman, como, por ej., geósfera, hidrósfera, criósfera, atmósfera y biósfera.

Estos subsistemas se unen e interactúan a través de límites difusos mediante procesos y ciclos que, con el paso del tiempo, almacenan, transforman e intercambian materia y energía, haciendo de nuestro hábitat un sistema complejo y dinámico, cuyos cambios son el reflejo de las relaciones entre estos.

En el estudio del sistema Tierra participan científicos de diferentes disciplinas, como geología, biología, oceanografía, climatología, física, química, matemáticas y agronomía, entre otras.

Los geocientíficos, más conocidos como *geólogos*, se enfocan principalmente en el estudio de la geósfera, y no solo realizan actividades de ciencia "pura", sino también aplicada, que van desde el estudio de los procesos de formación de minerales y rocas, hasta el entendimiento de yacimientos minerales y la explotación de recursos energéticos (petróleo, gas, carbón, elementos geotérmicos).

Una de las actividades más representativas que realizan los geocientíficos es la elaboración de mapas geológicos. En el diseño de estos mapas, que son la base del entendimiento de la parte más superficial de la geósfera, participan profesionales de diferentes especialidades. Por ejemplo, los mineralogistas se encargan de la identifi-



El sistema Tierra y las relaciones entre los diferentes subsistemas (geósfera, hidrósfera, criósfera, atmósfera y biósfera)
Autor: Karina Andrea Portilla Mendoza

cación de los minerales que componen las rocas, los petrólogos se encargan de la clasificación de las rocas (ígneas, sedimentarias, metamórficas), los paleontólogos identifican y clasifican el registro fósil y los geólogos estructurales se ocupan de la localización de fallas geológicas. En la elaboración de mapas geológicos también participan geógrafos que ayudan a mejorar la información sobre el terreno; pedólogos, que identifican y clasifican los suelos, y los hidrólogos, que identifican las fuentes hídricas, entre otros. La información plasmada en los mapas geológicos contribuye a entender los procesos superficiales de la geósfera y parte de los procesos subsuperficiales que ocurren en ella. Es así como en actividades aplicadas en la exploración de recursos minero-energéticos e hídricos intervienen los geocientíficos del subsuelo, conocidos como *geofísicos*, que utilizan herramientas tecnológicas avanzadas (sísmica, gravimetría, geoelectrónica, etc.) para mapear el subsuelo.

Los oceanógrafos, hidrólogos, limnólogos, climatólogos, físicos y químicos participan generalmente en actividades que ayudan a entender otro subsistema del sistema Tierra: la hidrósfera. Mientras los oceanógrafos se encargan de entender los procesos físico-químicos que controlan los océanos, los hidrólogos y limnólogos estudian dichos procesos en ríos y lagos. Los climatólogos, quienes se encargan de estudiar el comportamiento del clima, ayudan a los oceanógrafos, hidrólogos y limnólogos a mejorar el entendimiento de la hidrósfera y el balance hídrico de estos reservorios de agua. Los climatólogos, junto con los físicos y químicos, estudian el comportamiento de la esfera más exterior del sistema Tierra: la atmósfera. El estudio de la hidrósfera también se

ve complementado por los glaciólogos, quienes estudian los procesos que afectan las aguas congeladas (criósfera) en el planeta (glaciares, nevados, icebergs).

Los biólogos, botánicos, microbiólogos y bioquímicos se encargan de estudiar el comportamiento de la biósfera terrestre. Estos, junto con los paleontólogos, han emprendido el estudio del comportamiento de los seres vivos en el pasado. Mediante el estudio de los seres vivos actuales se puede inferir cómo fue el comportamiento y evolución de especies animales y vegetales a lo largo del tiempo geológico. El trabajo de los biólogos y paleontólogos también contribuye a la planeación de actividades aplicadas, como la restauración ecológica, esencial para mitigar los impactos generados por problemas como el cambio climático, la deforestación y la mala planeación ambiental.

Nosotros los humanos también hacemos parte del sistema Tierra y modificamos continuamente, de forma directa e indirecta, el equilibrio de los diferentes componentes del sistema Tierra con actividades como la agricultura, ganadería y minería. Como respuesta, el sistema Tierra busca restablecer su equilibrio, generando procesos retroalimentadores, como el cambio climático. Sin embargo, las respuestas a estas acciones dependen de la estabilidad o inestabilidad del sistema Tierra como un todo y de su capacidad de resistencia a los cambios que ocurren en cada subsistema. Con el paso del tiempo estos cambios desencadenan una serie de interconexiones que repercuten directamente en nuestro entorno (p. ej., desertificación, degradación de suelos, acidificación y desoxigenación oceánica y extinción de especies).



Dada la complejidad de las interacciones entre los diferentes subsistemas del planeta Tierra y el hombre, hoy en día los científicos están trabajando de forma multidisciplinaria. El trabajo conjunto de científicos de diferentes ramas del conocimiento no solo posibilita mejorar el entendimiento de los procesos y retroalimentaciones que afectan al sistema Tierra, sino también generar información cuantitativa más confiable sobre la cual las agencias tomadoras de decisiones generan planes estratégicos de prevención y mitigación de cambio ambiental. Esta información también es utilizada para idear planes estratégicos de desarrollo económico en sistemas autosostenibles.



Cascada en la Sierra Nevada del Cocuy.
Fotografía del Servicio Geológico Colombiano

En los siguientes párrafos explicaremos los diferentes subsistemas que componen el sistema Tierra, la forma como estos interactúan entre sí y cómo las actividades humanas se ven afectadas por las retroalimentaciones del mismo sistema.

Geósfera

La geósfera, el subsistema más relevante en el ámbito geológico, comprende la litósfera o corteza terrestre (corteza continental y corteza oceánica), que es rígida y ocupa aproximadamente los primeros cien kilómetros por debajo de la superficie terrestre. Debajo de la litósfera se encuentra el manto (2885 km de espesor), que se divide en la astenósfera y la mesósfera, y que presentan un comportamiento plástico y rígido, respectiva-

mente. La parte más interna de la geósfera se conoce como núcleo (3400 km de espesor), que es líquido en su parte exterior y sólido en su interior.

Los subsistemas atmósfera, hidrósfera, criósfera y biósfera, explicados más adelante, están en continua interacción con la corteza terrestre. La evolución de la corteza obedece a la ocurrencia de varios procesos que, a lo largo del tiempo, tienden a repetirse, aunque se vean afectados por diferentes factores. Estos fenómenos fueron advertidos por James Hutton, geólogo, médico, químico, naturalista, agrónomo y granjero, quien, a mediados del siglo XVIII, realizando observaciones detalladas sobre su entorno natural, emprendió sus propios análisis en los que especificó que los procesos naturales que ocurren actualmente

en la superficie de la Tierra también ocurrieron en el pasado y ocurrirán en el futuro (teoría del uniformitarismo: “el presente es la clave del pasado”).

Según Hutton, los procesos naturales son lentos y graduales, y no necesariamente ocurren a igual intensidad ni ritmo. Estos procesos, que afectan la corteza terrestre y demás componentes del sistema tierra (atmósfera, hidrósfera, criósfera y biósfera) mediante las múltiples interacciones comprenden un tiempo. Hutton consideró dicho tiempo en un sentido más amplio que el bíblico, y lo nombró de forma filosófica, científica y hasta revolucionaria para su época, “*tiempo profundo*”, que corresponde a lo que ahora llamamos “*tiempo geológico*”.

El tiempo geológico corresponde a divisiones temporales que representan los principales eventos geológicos y biológicos que han afectado la Tierra desde su formación hasta la actualidad, y que son observables en el registro geológico. Cuando hablamos de *tiempo geológico* nos expresamos en millones de años (Ma). Estos últimos siempre contados desde el presente hacia el pasado. En este momento sabemos que nuestro planeta cuenta con una larga historia que empezó hace 4600 Ma.

Actualmente, los geocientíficos reconocen que la teoría de uniformitarismo no es completamente válida y que la evolución e interacción de los diferentes subsistemas del sistema Tierra han cambiado a lo largo del tiempo.

Un ejemplo es la influencia que tuvo la falta de oxígeno en la atmósfera terrestre, hasta hace 2400 Ma, y que hizo que la transformación de las rocas en la superficie terrestre y la evolución de la vida fueran gobernadas por procesos completamente diferentes a los actuales.

De igual manera, se puede advertir la ausencia de actividad tectónica (procesos de deformación de la corteza terrestre a gran escala) hasta hace 3400 Ma.

Solo hasta hace 1500 Ma el aumento de la actividad tectónica global dio paso al incremento del oxígeno atmosférico a niveles que pudieran

sostener la vida a escala global. De acuerdo con varios estudios, la creación de grandes continentes aumentó las áreas terrestres disponibles para interactuar con la atmósfera. De esta interacción se deriva un incremento en el aporte de nutrientes (específicamente de fósforo) desde el continente al océano, lo que terminó favoreciendo el aumento de la biomasa de microorganismos fotosintéticos productores de oxígeno (cianobacterias) y, por tanto, la liberación de oxígeno del océano a la atmósfera.

Otro ejemplo que evidencia la interacción entre el subsistema geósfera y otros subsistemas del sistema Tierra es la capacidad que esta tiene para controlar el clima terrestre. Durante periodos de alto volcanismo, la adición rápida de grandes cantidades de CO₂ volcánico a la atmósfera causa calentamiento global y genera cambios fisicoquímicos en el mar (acidificación y desoxigenación oceánica) que pueden ocasionar extinciones biológicas en masa. Durante periodos de creación de grandes cadenas montañosas, en cambio, el CO₂ atmosférico es secuestrado por medio de la interacción entre la atmósfera y la corteza continental, un proceso llamado *meteorización química*. Este secuestro de CO₂ atmosférico favorece la disminución de las temperaturas terrestres y, al mismo tiempo, de la acidificación y desoxigenación oceánica.

Es importante resaltar que la actividad tectónica es un proceso netamente endógeno del sistema Tierra. La tectónica de placas es el proceso responsable del movimiento de las capas externas de la Tierra (corteza terrestre y astenósfera). Este proceso no solo controla en gran parte la evolución de la corteza terrestre, sino que es el responsable de la generación de los principales rasgos fisiográficos de nuestro planeta. A partir de esta dinámica podemos apreciar, a lo largo de la historia geológica, la aglomeración y separación de masas continentales y la creación de cuencas oceánicas, así como la generación de cadenas montañosas, en procesos conocidos como *orogénias*.



Neógeno

Paleógeno

Cenozoico

Cretácico

Jurásico

Mesozoico

Triásico

Fanerozoico

Pérmico

Carbonífero

Paleozoico

Devónico

Silúrico

Ordovícico

Cámbrico





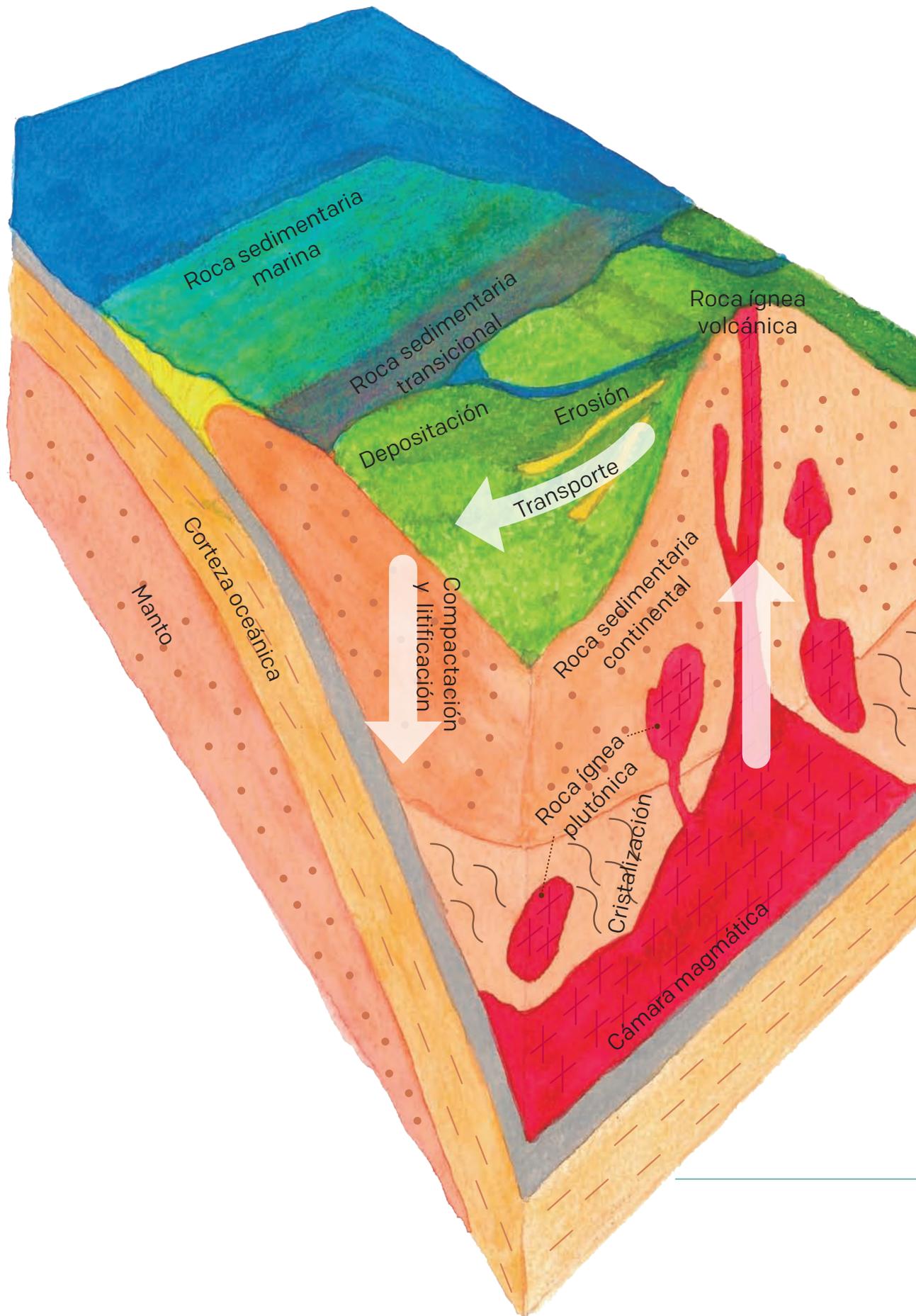
La tectónica de placas y los procesos de interacción entre la geósfera y los otros subsistemas del planeta Tierra también influyen en la formación y transformación de las rocas, principales constituyentes de la corteza terrestre, lo cual ocurre en tiempo geológico y puede implicar el rompimiento del equilibrio de los diferentes subsistemas del sistema Tierra, bajo diferentes condiciones físico-químicas. En este contexto, los materiales rocosos son continuamente creados y destruidos en una dinámica de transiciones que se ven reflejadas en los tres tipos de rocas que existen en la Tierra: ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Para comprender de forma sencilla cómo se relacionan entre sí los diferentes tipos de roca es necesario explicar el ciclo de las rocas. Este ciclo no tiene un principio único, ni las rocas siguen pasos determinados; por tanto, tanto la naturaleza como el aspecto de las rocas dependen de los minerales que las componen y de la evolución geológica de cada región.

Escala del tiempo geológico. Note como las diferentes eras del tiempo geológico (p. ej. Arqueano, Proterozoico, Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico) están asociadas a cambios biológicos.

Por ejemplo, el Arqueano está dominado por bacterias, arqueas y algunas procariotas (organismos unicelulares). El Proterozoico observó la aparición de los primeros seres multicelulares (Eucariotas). El Paleozoico observó la expansión de las eucariotas y la aparición de fósiles tanto en los océanos como en la Tierra. El Mesozoico registro la aparición y desaparición de los dinosaurios. En el Cretácico ocurrieron cambios importantes en la ecología global como por ejemplo la aparición de las primeras angiospermas. En el Cenozoico aparecieron los mamíferos, de los cuales hace parte el hombre. También surgieron y expandieron las gramíneas (pastos).

Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza



Supongamos que iniciamos el ciclo de las rocas con el magma. El magma es un líquido caliente y viscoso que puede provenir de dos fuentes: del manto o de rocas preexistentes que se funden a altas temperaturas y presiones en el interior de la Tierra, donde la destrucción de los minerales crea composiciones químicas uniformes.

A medida que el magma entra en contacto con la litósfera, aquel se enfría y se solidifica (cristaliza), a raíz de lo cual sus condiciones físico-químicas cambian. El magma puede ascender rápidamente a la superficie terrestre, cuando es más liviano, y dar paso a una erupción volcánica. La cristalización del magma, o lava en superficie, forma lo que conocemos como *rocas ígneas volcánicas* (p. ej.: riolitas, dacitas, andesitas, basaltos, etc.). Si el magma asciende de forma lenta, atravesando algún cuerpo de roca preexistente (roca caja) y se estaciona en algún lugar profundo de la corteza, se forman las rocas ígneas plutónicas: p. ej.: granitos, granodioritas, dioritas, gabros, etc., que según su forma pueden ser laminares (lacolitos, facolitos o lopolitos) o globosos (*stocks* o batolitos).

Las rocas ígneas pueden verse afectadas por varios procesos. Si la roca ígnea llega a la superficie, entra en contacto con los subsistemas atmósfera, hidrósfera, criósfera y biósfera. Esta interacción resulta inicialmente en un proceso conocido como *meteorización* (física y/o química), que degrada las características originales de la roca y la vuelve vulnerable a la erosión. Como se mostrará más adelante, la meteorización química y física también hacen parte de una serie de procesos que conducen a la formación de los suelos.

La erosión transforma la roca en sedimentos que posteriormente, cuando se depositan, se compactan y se cementan (litifican), dando paso a la formación de las rocas sedimentarias siliciclásticas (conglomerados, areniscas, lutitas, lodolitas). Es importante anotar que existen rocas sedimentarias químicas que son el resultado de la depositación de minerales que cristalizan espontáneamente en aguas tanto continentales como oceánicas (evaporitas y carbonatos), o por la depositación de fragmentos de animales que secretan sus conchas protectoras (corales, plancton). Estos fragmentos, conocidos como *fósiles*, se pueden encontrar tanto en rocas sedimentarias químicas como en rocas siliciclásticas.



Roca metamórfica

Las rocas ígneas y sedimentarias pueden resultar enterradas a gran profundidad, ya sea por la acción de la tectónica de placas o por la sobrecarga de sedimentos acumulados a lo largo del tiempo geológico. Al ser sometidas a grandes presiones y a un calor intenso, las rocas se transforman física, química y mineralógicamente, dando paso a lo que se conoce como *rocas metamórficas* (p. ej.: filitas, esquistos y gneises, entre otras). El enterramiento de las rocas por debajo de la superficie terrestre puede avanzar hasta un punto en que se funden y crean nuevamente un magma, que terminará formando rocas ígneas, y de esta manera se vuelve al punto de partida del ciclo.

A la escala de vida humana, las rocas parecen ser masas invariables; sin embargo, el ciclo de las rocas demuestra lo contrario: los procesos geológicos de creación y destrucción de rocas siempre están operando de manera lenta y gradual. Estos acontecimientos explican los cambios geológicos y biológicos que presenta el sistema Tierra.

Hidrosfera

El término *hidrosfera* hace referencia al agua que existe en el planeta Tierra, tanto en la superficie (océanos, ríos, lagos) como en el subsuelo (aguas subterráneas). La superficie de la Tierra está compuesta de aproximadamente tres cuartas partes de agua. De esta porción, el 97% corresponde al agua salada de los océanos, y el porcentaje restante al agua dulce, tanto superficial como subterránea. La gran cantidad de agua en la superficie terrestre hace de nuestro planeta un lugar ideal para la existencia de seres vivos.

Dada la importancia que tiene el agua para los animales y plantas, una pregunta importante que nos podemos formular es ¿cuál es el origen del agua? Hace unos cinco años, la “cazadora canadiense de aguas primigenias”, Barbara Sherwood-Lollar estudió los fluidos que se encuentran atrapados en rocas precámbricas de Canadá y Sudáfrica, que datan de 2600 Ma, a profundidades de entre 1 y 3 kilómetros. Esta investigadora concluyó que los fluidos atrapados



en burbujas dentro de los minerales de dichas rocas están compuestos de moléculas de agua. Este es probablemente el descubrimiento de agua líquida más antigua del planeta Tierra. Los resultados de este trabajo sirvieron para que los científicos comenzaran a profundizar en la búsqueda de evidencias científicas de presencia de vida en ambientes extremos y en la posibilidad de la existencia de vida en otros planetas.



Interacción geósfera, hidrósfera y biósfera en las montañas colombianas. Departamento del Cauca. Fotografía de la Federación Nacional de Cafeteros

A pesar de que el agua líquida más antigua de la Tierra hasta ahora encontrada data de 2600 Ma, evidencias indirectas de la existencia de agua en la superficie de la Tierra se han determinado a partir de estudios geoquímicos, la geoquímica estudia la composición química de las rocas. Los circones son minerales de origen ígneo que pueden generarse a partir de la cristalización de magmas que presentan aguas de diferentes

orígenes (continentales, marinas, magmáticas). John Valley y su grupo de investigación de la Universidad de Wisconsin, en Madison (Estados Unidos), realizaron estudios geoquímicos minuciosos en circones encontrados en la región de Jack Hills (Australia occidental). Sus estudios demostraron que estos circones, que datan de 4400 Ma, fueron cristalizados a partir de un magma con presencia de materiales de la parte superior de la

corteza terrestre donde existía una hidrósfera activa. Este descubrimiento dio una nueva percepción del enfriamiento de la Tierra y la formación de continentes mucho antes de lo que se creía. Con estas evidencias se refuerza la teoría de la existencia de la hidrósfera en la Tierra antes de los 4300 Ma.

Volvamos al sistema de la Tierra actual, donde el agua en sus diferentes estados (gaseoso, sólido y líquido) circula a través de los océanos, la atmósfera y la geósfera. Al igual que en el ciclo de las rocas, no hay punto de inicio al hablar del ciclo del agua. Sin embargo, dadas las proporciones del agua presente en la superficie terrestre, comenzaremos el ciclo del agua por el océano.

El océano está expuesto a cambios atmosféricos que generan evaporación y condensación de vapor, lo cual crea nubes que luego producen precipitaciones de lluvia, nieve o granizo. Al caer la lluvia en tierra firme, puede permanecer como agua superficial, constituyendo lagos y aguas corrientes que fluyen como quebradas y ríos, y terminar su viaje en el océano, o bien puede infiltrarse a través de los materiales superficiales a zonas de rocas porosas, con lo cual se convierten en aguas subterráneas (acuíferos). En este proceso de infiltración, el suelo absorbe parte del agua que estará disponible para las plantas, que transfieren el agua nuevamente a la atmósfera mediante la evapotranspiración. Así, mantienen en su interior solo una mínima porción de esta, para conservar sus funciones biológicas y metabólicas.

La evaporación y transpiración que se presenta, por ejemplo, en los cultivos, varía según su fase de desarrollo y crecimiento. El proceso de evaporación se presenta con mayor incidencia hacia el inicio del desarrollo del cultivo debido a que las plantas no han alcanzado una cobertura máxima y el suelo por lo regular se encuentra más expuesto a los rayos solares. De esta manera, se puede entender la importancia de la atmósfera en el ciclo del agua, del cual hablaremos más adelante.



Formas del agua sólida en nuestro sistema Tierra.
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza



Criósfera

La criósfera está constituida por los elementos del sistema Tierra que contienen agua en estado sólido. Se pueden presentar en forma de nieve, hielo marino, icebergs, placas de hielo, glaciares, bloques de hielo y suelos congelados (*permafrost*), entre otros. Los periodos de tiempo en los que estos componentes se mantienen en estado sólido, en algunas zonas terrestres, son variados, y su ocurrencia puede estar relacionada con las estaciones del año (nieves estacionales, bloques y capas de hielo) o con la ubicación en el globo terráqueo (glaciares, hielo marino, icebergs, suelos congelados), donde pueden permanecer por millones de años.

En lugares tropicales, como Colombia, la presencia de agua en estado sólido depende principalmente de la variación de temperatura con respecto a la altitud sobre el nivel del mar, aunque factores como las características geográficas y climáticas (precipitación) también influyen en la presencia de agua sólida.

La criósfera tiene una relación directa con la hidrósfera y la atmósfera, que la hace muy sensible a cambios a causa de sus interacciones. En algunas partes de la corteza terrestre, como la Antártida, la nieve y el hielo reflejan el mayor porcentaje de la radiación solar que incide sobre nuestro planeta. Esto hace que la energía que absorbe la superficie terrestre sea menor, de modo que las capas de hielo actúan como reguladoras de la temperatura atmosférica.

El control de la temperatura atmosférica es crucial para la regulación del calentamiento global, que a su vez controla la ocurrencia de los glaciares. Un ejemplo son los glaciares de montaña. Dada su menor área y volumen que los glaciares antárticos, los glaciares de montaña son más vulnerables a los efectos del calentamiento global, que está promoviendo deshielos y una disminución considerable de estas masas.



Estas evidencias de cambio climático que enfrentamos en la actualidad influyen directamente sobre los ecosistemas en una escala local y sobre las actividades humanas.

Los glaciares y nieves perpetuas colombianos están situados generalmente en las cimas de volcanes. El calentamiento global no solo produce deshielo, sino que no permite que más nieve se acumule sobre estos, y como consecuencia las líneas de nieve se encuentran en constante retroceso. De este modo, los picos nevados colombianos terminarán por desaparecer. Esta desaparición afecta el ciclo hidrológico, especialmente en zonas donde el agua potable, disponible para consumo humano y actividades económicas (p. ej., agroindustriales), se ha visto disminuida.

Atmósfera

La atmósfera está constituida por gases como el nitrógeno (~78%), oxígeno (~21%), argón (0,93%), aunque también contiene vapor de agua en concentraciones variables, dependiendo de la región, desde 0.001%, en zonas frías, hasta 5% en masas de aire caliente y húmedo. El agua se presenta en la atmósfera en forma de vapor, nubes, y algunas veces como pequeños cristales de hielo. La mitad del agua atmosférica se concentra en los dos primeros kilómetros de la tropósfera, que cubre aproximadamente 12 kilómetros desde la superficie terrestre. La tropósfera se encuentra por debajo de la estratósfera, que tiene un espesor de 40 km y contiene la capa de ozono. Por encima de la estratósfera se encuentra la mesósfera (50-80 km), caracterizada por una densidad tal que puede proteger la Tierra de meteoritos; la termósfera (80-700 km), donde las ondas y radiación extraterrestres son reflejadas y donde ocurre la aurora boreal, y la exósfera (700-10000 km) donde orbitan los satélites. No hay un límite específico entre la atmósfera y el espacio exterior; simplemente la densidad de la masa atmosférica va disminuyendo desde la superficie terrestre hasta que los gases se disipan en el espacio.

El balance de energía en la superficie terrestre está influido por el flujo de energía entre el Sol (que es la principal fuente de energía de la Tierra) y la energía interna que emite nuestro planeta. Si este absorbe más energía que la que emite, ocurre un calentamiento, y si absorbe menos, ocurre un enfriamiento. Entender los procesos físico-químicos que actúan en la atmósfera ha sido y será una necesidad para la humanidad, ya que la atmósfera controla de forma eficiente el flujo de energía desde y hacia la Tierra. La temperatura en la superficie del planeta, de hecho, se mantiene debido al efecto invernadero, que es el fenómeno por el cual los gases que componen la atmósfera terrestre retienen parte de la energía que la superficie emite al haber sido afectada por la radiación solar. La temperatura media en la superficie terrestre es de alrededor de 17 grados centígrados. A causa de esta temperatura, el agua se puede encontrar en sus tres fases. Esto permite que la energía se almacene, se transporte y se redistribuya, lo cual da lugar al sistema climático que caracteriza a la Tierra y, por consiguiente, garantiza la existencia de vida.

Biósfera

La biósfera está constituida por los seres vivos, y probablemente es el subsistema que contiene la mayor diversidad de elementos. De esta hacen parte toda clase de organismos, simples y complejos, desde organismos unicelulares (bacterias, protozoos, etc.), hasta organismos multicelulares (plantas, animales, etc.). La vida surgió en los océanos de nuestro planeta hace aproximadamente 3500 Ma. Es precisamente en el océano donde se encuentra la mayoría de la fauna y la flora de la Tierra, desde diminutos organismos unicelulares hasta la ballena azul, catalogada como el mamífero más grande del planeta. La mayor parte de la biota del océano la constituyen unas algas llamadas *fitoplancton*. Estos organismos no solo son la base de la cadena alimenticia marina, sino que también producen, mediante fotosíntesis, aproximadamente la mitad del oxígeno

que los humanos, junto con las demás criaturas terrestres, respiramos. Estudios sugieren que la acción de las bacterias fotosintéticas (cianobacteria) dio paso a los primeros pulsos de oxigenación de los mares y de la atmósfera terrestre hace 3.4 Ma. Los niveles de oxígeno en la atmósfera y los mares permanecieron bajos hasta el inicio de la era Paleozoica, cuando las plantas terrestres que surgieron en el Ordovícico (470 Ma) ayudaron a estabilizar el oxígeno disponible en la atmósfera terrestre, que alcanzó los niveles actuales hace 400 Ma. Este incremento en los niveles de oxígeno en la atmósfera favoreció la aparición y proliferación de los primeros animales y plantas terrestres.

Los organismos que hacemos parte de la biósfera nos vemos involucrados en los cambios que se presenten en cualquiera de los subsistemas del sistema Tierra (hidrósfera, atmósfera, criósfera, geósfera y biósfera). Las grandes masas de agua que rodean los continentes son esenciales para la especie humana. Sin embargo, la pesca excesiva y el calentamiento global amenazan con dejar estas zonas estériles. La intervención humana nos hace vulnerables a los cambios irreversibles en escala de tiempo humano, puesto que aceleran muchos procesos que desembocan en un deterioro de nuestro hábitat, el planeta Tierra. Cuando dos o más de estas esferas interactúan se forma una interfase en el sistema. Un ejemplo es el suelo, que resulta de la confluencia de los subsistemas tratados a lo largo de este capítulo y cuya génesis y propiedades serán explicados a continuación.

+ Subsistema biósfera, constituido por los seres vivos.
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza





DE LAS ROCAS AL MARAVILLOSO UNIVERSO DE LOS SUELOS

Cuando hablamos del suelo, sabemos que se trata de uno de los recursos naturales más importantes para nosotros, los seres vivos, pero no alcanzamos a imaginar el increíble mundo que se encuentra en esa delgada capa de material no consolidado que envuelve la superficie de la Tierra.

En un contexto general podríamos visualizar los suelos como aquellas zonas que se desarrollan en la interface de la litósfera (rocas), la hidrósfera (agua), la biósfera (organismos) y la atmósfera (oxígeno), es decir, es uno de los subsistemas naturales más complejos y dinámicos de nuestro planeta.

¿Qué es un suelo?

Etimológicamente, la palabra *suelo* deriva del latín “solum” (piso, tierra, territorio), y su definición abarca muchos significados que dependen de la disciplina desde donde se aborde (geología, pedología, edafología, ciencias forestales, agronomía, química, etc.). Sin embargo, quien se encarga de su estudio es la ciencia del suelo (pedología), que lo define así:

El suelo es:

“Un cuerpo natural, independiente, compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases, que se desarrolla en la superficie de la Tierra como consecuencia de una combinación de procesos determinados en su naturaleza e intensidad por factores como el clima, los organismos vivos, el material parental, el relieve y el tiempo” (SSDS, 2017).

La pedología estudia el suelo como un cuerpo natural y aborda aspectos relacionados con su origen, clasificación y cartografía, mientras que la edafología lo considera el soporte para las plantas y trata temas concernientes a su uso práctico (producción agropecuaria).

¿Cómo se forma un suelo?

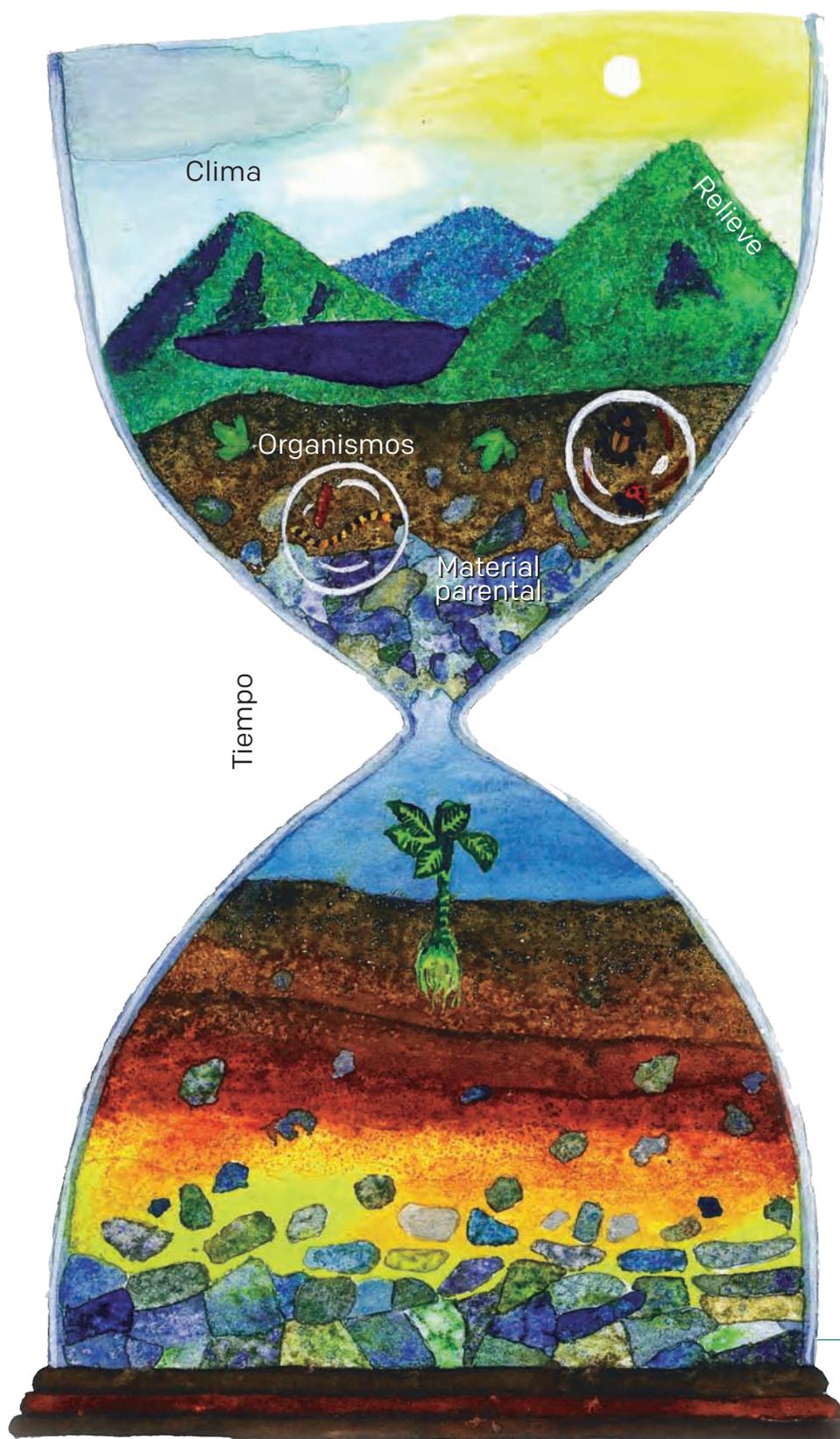
El desarrollo de un suelo es un proceso largo y complejo, y su formación involucra cinco factores indispensables: material parental, relieve, clima, organismos y tiempo.

La historia comienza con la transformación de las rocas en el material parental. Este proceso ocurre cuando las rocas expuestas en la superficie entran en contacto con la atmósfera e hidrósfera (factor climático) y con la biósfera (factor orgánico) y, como producto de esta interacción, se da una serie de cambios físicos, químicos y biológicos que van descomponiendo progresivamente la roca sólida y dura en un material blando, terroso y frágil (saprolito).

Este proceso de desintegración de las rocas en un ambiente netamente superficial se denomina *meteorización*, y puede ser físico, químico o biológico.

Es importante recordar que la meteorización física ocurre cuando las rocas se desintegran para producir fragmentos que conservan la composición química y mineralógica.

Si las transformaciones se dan con la participación de agentes como el agua, el oxígeno y los ácidos orgánicos, la meteorización se denomina *química*, y sus productos finales son *iones*, nuevos minerales generados a partir de los existentes (minerales arcillosos) y minerales residuales resistentes (como el cuarzo). La meteorización biológica involucra la actividad de animales y plantas, que disgregan los materiales y los alteran física y químicamente.



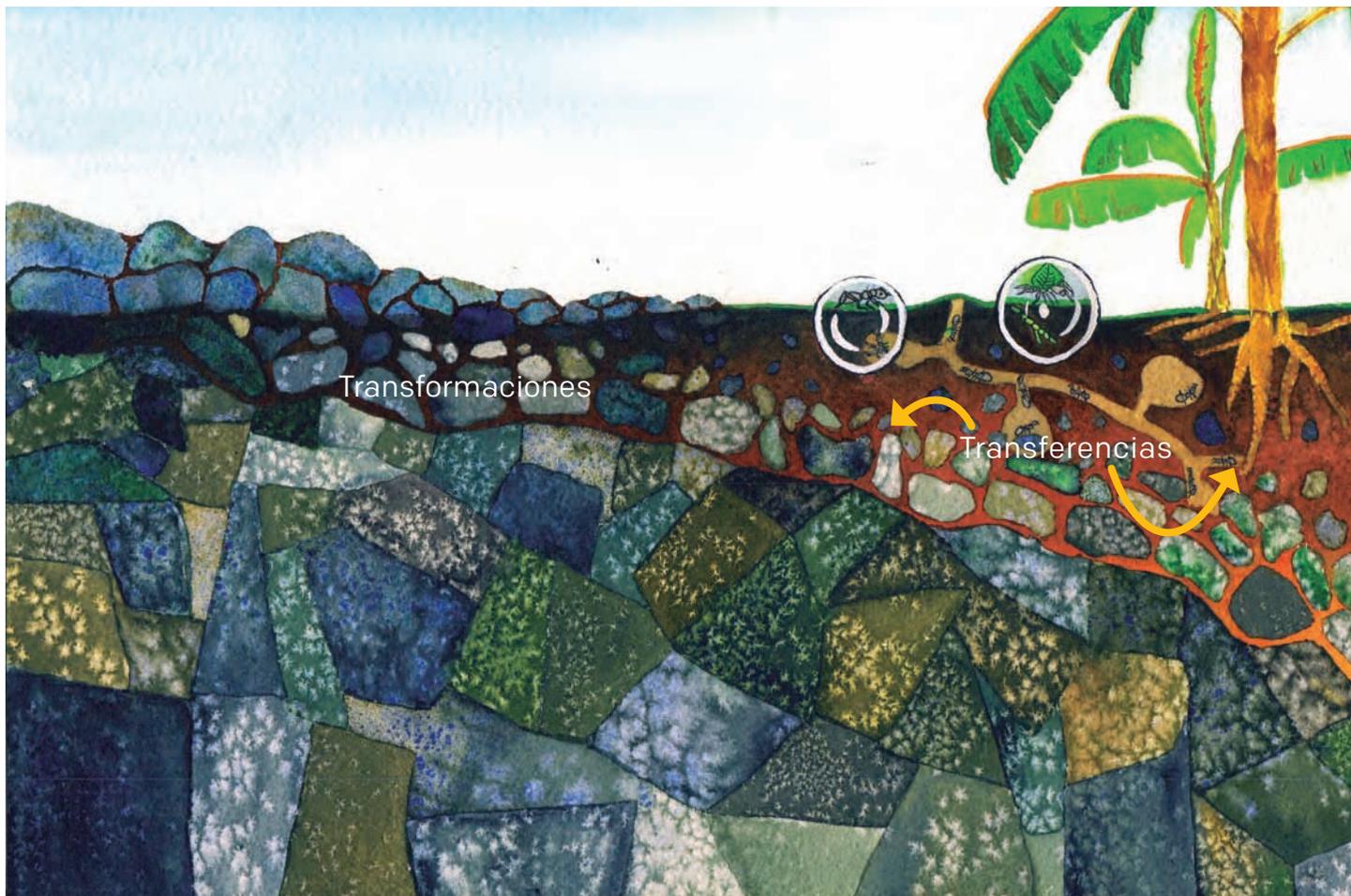
Proceso de desarrollo de un suelo a partir de la interacción de los factores formadores. Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza

El material parental a partir del cual evoluciona un suelo está constituido por rocas meteorizadas a las que denominamos *saprolitos* y/o por depósitos no consolidados acumulados en la superficie. Estos depósitos pueden ser de tipo aluvial (terrazas de ríos, avalanchas), gravitacional (cuerpos de antiguos deslizamientos) o piroclásticos (ceniza volcánica), según el agente responsable de la depositación (agua, gravedad, viento, etc.). La suma de todos estos materiales en la superficie se denomina *regolito* (regolito = saprolito + depósitos).

Con el paso del tiempo, este material parental, que en un principio estaba regido por procesos geológicos y que de ellos heredó gran parte de los rasgos que hoy configuran el relieve, sigue el camino de la evolución en función del clima. En

un contexto regional, las variables de temperatura y precipitación ayudan a moldear el paisaje, debido a que controlan las velocidades de los procesos de alteración y son responsables del flujo del agua que atraviesa el suelo. El agua y la humedad (factor climático) también influyen en la actividad biológica, pues de estas variables dependen el tipo y la cantidad de organismos presentes.

Siguiendo el curso de la evolución del suelo, los "organismos" comienzan a establecerse en los diversos materiales geológicos donde las condiciones ambientales satisfacen sus necesidades. La colonización ocurre hasta el punto de configurar monumentales ecosistemas y comunidades biológicas que fragmentan, transforman y movilizan materiales en el interior del suelo, y una vez culminan su ciclo de vida, aportan uno de



los componentes esenciales que hacen la gran diferencia entre material parental (saprolito, regolito) y suelo, la materia orgánica.

En el sistema Tierra existen miles de combinaciones entre estos factores formadores de suelo, y dependiendo de esas conexiones podemos encontrar miles de universos llamados *suelo*.

Por ejemplo, en una región con altos índices de humedad se incrementa la producción de biomasa y los contenidos de materia orgánica se elevan, pero existe mayor flujo de agua dentro del perfil, con la subsecuente pérdida de elementos químicos. Asimismo, una región con alta temperatura y baja humedad (árido) tiene baja producción de materia orgánica (disminuye la biomasa) y puede ocurrir ascenso de sales debido a la evapotranspiración (evaporación).

El perfil del suelo

Cuando estudiamos un suelo debemos realizar un corte vertical desde la superficie hasta la roca inalterada. Esta sección, denominada *perfil del suelo*, expone muchas características, siendo la más evidente la diferenciación en horizontes. Estos se encuentran más o menos paralelos entre sí y siguen la topografía del terreno. Los horizontes de suelo obedecen a cambios en propiedades de carácter físico, como la estructura (forma como se organizan las partículas), el color (indicador de la composición y de las condiciones climáticas) y la textura (distribución de las partículas en el suelo). Estos horizontes también presentan cambios composicionales (químicos, mineralógicos, biológicos).

El tipo y número de horizontes desarrollados en el curso de la evolución de un suelo dependen



Esquema de formación de un suelo. 
Pintura de Karina Andrea Portilla
Mendoza



+ Desarrollo de los horizontes en un perfil de suelo. Fotografía de Hernán González Osorio, Cenicafé

directamente de los factores formadores y de los procesos que ocurren en su interior. De esta manera, podemos encontrar suelos con mayor o menor presencia de horizontes, según cuáles sean sus condiciones ambientales; sin embargo, podemos ilustrar un perfil de suelo ideal en el cual se exhiben todos los horizontes o capas maestras, que se describen a continuación.

Como vemos, la formación del suelo involucra muchas variables. Se destaca la influencia del material parental, ya que este aporta elementos que finalmente el suelo tiene disponibles y que son aprovechados por las plantas.

Cuando los minerales primarios comienzan el curso de la meteorización, ellos pueden transformarse hasta configurar nuevos minerales, que se denominan *minerales secundarios*. En medio de estas complejas reacciones químicas los suelos liberan iones (cationes y aniones) que quedan en solución en las aguas de los suelos. Estos son justamente los nutrientes que definen la fertilidad del suelo y que son adsorbidos por la planta, según sus necesidades. La disponibilidad de estos nutrientes depende en gran medida de la reacción del suelo, que se establece midiendo su pH.

Con unas simples mediciones podemos saber indirectamente si un suelo tiene o no suficientes nutrientes para las plantas. Cuando tenemos valores de pH bajos, decimos que el suelo es ácido. La acidez del suelo puede deberse a que el material parental es pobre en elementos básicos, o bien, a que el suelo ha estado sometido a intensos procesos de pérdidas (lixiviación), comunes en clima tropical, donde predominan cationes como el aluminio (Al^{+3}) y el hierro (Fe^{+3}). Cuando los valores de pH oscilan entre neutros y levemente altos, la tendencia es básica y por lo regular los suelos presentan concentraciones medias de elementos como sodio (Na^{+}), potasio (K^{+}), magnesio (Mg^{+2}) y calcio (Ca^{+2}), que en términos de fertilidad de suelos, se consideran óptimas.

Estos materiales han perdido totalmente los rasgos de la roca o material parental que les dio origen

Horizonte O: horizonte más superficial, de color oscuro (negro), constituido esencialmente por materiales orgánicos que se encuentran en proceso de descomposición. Su contenido mineral es mínimo o eventualmente ausente.

Horizonte A: horizonte superficial de carácter mineral, pero con influencia de actividad biológica. El material orgánico humificado le aporta coloración oscura.

Horizonte E: horizonte situado bajo el horizonte A, de color claro, caracterizado por presentar pérdidas de materiales finos, como arcillas, minerales y materia orgánica, que migran al horizonte inferior (B).

Horizonte B: horizonte subsuperficial mineral enriquecido por los materiales lixiviados de los horizontes anteriormente descritos, que en nuestro trópico suele presentar coloraciones rojizas debido a la acumulación de hierro.

Horizonte C: horizonte subsuperficial que corresponde a lo que hemos denominado saprolito o material parental de los suelos.

Horizonte R: es el horizonte más profundo y está constituido por las rocas en su estado original ("roca fresca"), es decir, materiales que no han sido afectados por los procesos superficiales.

Procesos pedogenéticos

En cuanto a los procesos relacionados con la pedogénesis (origen), se encuentran unos de carácter general, que son comunes a todos los tipos de suelo, y otros específicos, que son particulares y

se rigen según cuál sea el factor predominante en una determinada zona.

Los procesos pedogenéticos generales incluyen adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia.

PROCESOS PEDOGENÉTICOS GENERALES

Adiciones	Materia orgánica, iones y material particulado
Pérdidas	Erosión y lixiviación
Transferencias	Eluviación (salida material), iluviación (entrada material), calcificación (Ca) y pedoturbación (lombrices)
Transformaciones	Materia orgánica en humus, meteorización física (disgregación de material [partículas]) y meteorización química (minerales primarios en minerales secundarios) (óxidos y arcillas)

Todos estos procesos se reflejan en las propiedades visibles del suelo, y a medida que este evoluciona, las partículas sólidas se van uniendo hasta formar unidades más grandes llamados *peds*, para conformar finalmente la *estructura pedogénica* del suelo. La formación de estructura es la cualidad por excelencia que lo diferencia del material terroso e inerte que ofrece la geología en el perfil de meteorización.

Colombia se encuentra ubicada geográficamente en la esquina nororiental de Sudamérica. Aquí ha ocurrido un sinnúmero de procesos geológicos que a lo largo de millones de años han ido modelando nuestro territorio, hasta lograr la configuración actual. Estos aspectos geográficos permiten unas condiciones ambientales particulares, con presencia de todos los pisos climáticos, innumerables fuentes de agua y diversos ecosistemas, entre los que se encuentran bosques subandinos, andinos, altoandinos, páramos y nevados, que nos confieren el privilegio de ser uno de los países con mayor biodiversidad del planeta.

Siendo este el panorama, podemos visualizar una gran pluralidad de suelos en función de todas las combinaciones posibles de los factores que los forman. Es por ello que en nuestras condiciones tropicales, donde reinan las altas temperaturas y las altas precipitaciones, actúa con mayor intensidad uno de los principales procesos específicos, denominado *oxidación*, encargado de teñir de coloraciones rojizas y ocreas nuestras montañas andinas.

Estas condiciones dan lugar a suelos muy evolucionados, con texturas regularmente arenosas y de tendencia ácida, debido a las pérdidas de bases por lixiviación. Ejemplos de estos procesos los observamos en los suelos de la región oriental (Orinoquia y Amazonia).

Otro proceso importante es la andolización, que no es más que el producto de la interacción de las cenizas que emanan de los volcanes cuando hacen erupción con los materiales orgánicos en nuestro clima tropical. Estos suelos son comunes en la región asociada a la cadena volcánica

Ruiz-Tolima, en la cordillera Central, principalmente.

Tipos de suelos

Los suelos como todos los sistemas naturales son susceptibles de ser clasificados. De esto se encarga la taxonomía, quien los organiza en un sistema jerárquico, de acuerdo a su origen y a los factores de formación. Aunque existen varias clasificaciones, en nuestro país se ha adoptado la propuesta por el USDA (United States Department of Agriculture). En las zonas cafeteras colombianas encontramos los siguientes órdenes de suelos:

- Alfisoles: son suelos con bajos contenidos de materia orgánica y presentan un horizonte B enriquecido en arcillas provenientes del horizonte A. Requieren un clima con períodos húmedos para translocar las arcillas y períodos secos para su acumulación. Su perfil puede contener la secuencia de horizontes A/B/C o A/E/B/C en un estado más evolucionado.
- Andisoles: son suelos de coloraciones muy oscuras debido a los altos contenidos de materia orgánica que se desarrollan a partir de la meteorización de las cenizas volcánicas. Son suelos bien estructurados y de baja porosidad. La secuencia típica de este orden es A/C o A/B/C.
- Entisoles: son suelos muy jóvenes que no han tenido el tiempo suficiente de evolución y por ello no evidencian horizontes diagnósticos. Normalmente presentan un perfil A/C con bajos contenidos de materia orgánica.
- Inceptisoles: son suelos con poco desarrollo pedogenético, aunque más evolucionados que los Entisoles. Se consideran suelos inmaduros, pobres en materia orgánica y en su formación ningún proceso predomina. Su desarrollo se relaciona con materiales parentales transportados (depósitos aluviales, coluviales, etc) y en el perfil pueden incluir una secuencia A/C en regiones de fuerte pendien-

te ó A/B/C en regiones geográficas de menor inclinación.

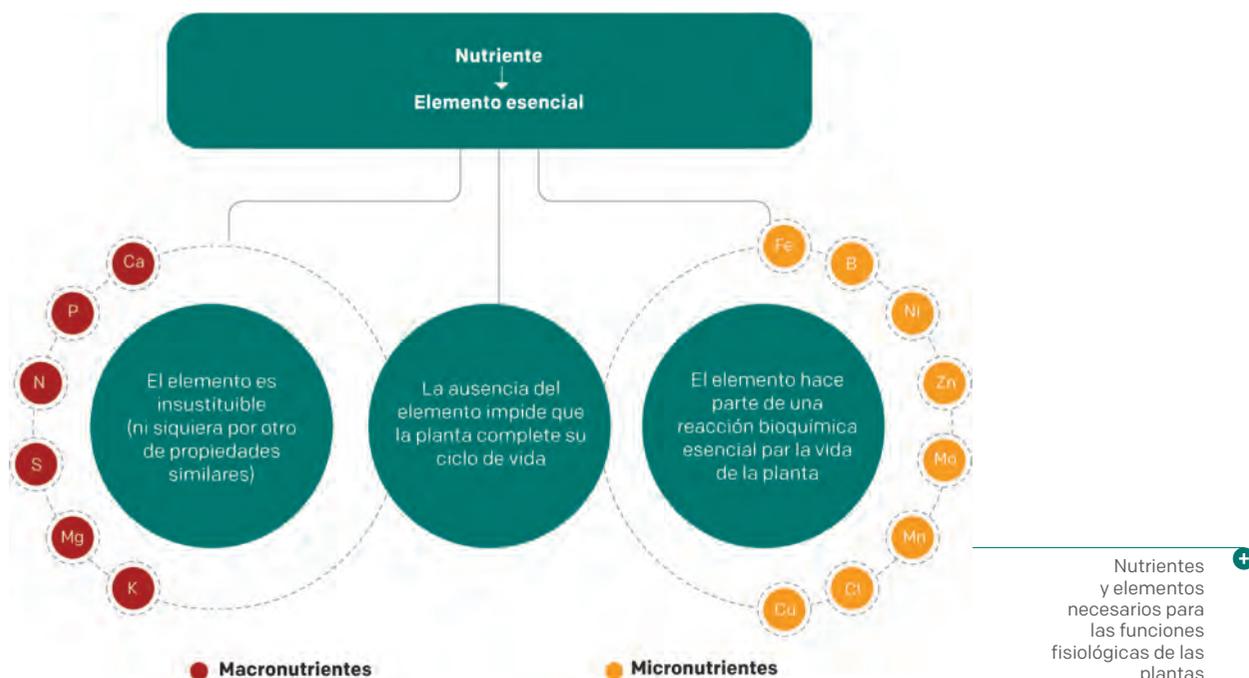
- Molisoles: son suelos que presentan un horizonte A muy oscuro debido a la íntima relación entre la materia orgánica y los minerales del suelo. Evidencian una fuerte actividad biológica y se caracterizan por su buena fertilidad. Presentan generalmente un perfil genéticamente bien evolucionado A/E/B/C.
- Vertisoles: son suelos que se forman a partir de arcillas expansivas denominadas esmectitas (materiales sedimentarios muy finos) En períodos húmedos estas arcillas se hidratan y expanden, mientras que en periodos secos se contraen. Esta actividad termina formando grietas en la superficie de estos suelos, por lo cual heredan muchas limitaciones físicas para las prácticas agrícolas.

Nutrientes de los suelos cafeteros colombianos

Cuando se analiza químicamente la composición elemental de las plantas superiores es posible hallar un número considerable de elementos; sin embargo, ello no significa que todos sean esenciales para la nutrición vegetal. Esto se debe a que las raíces de las plantas absorben de manera indiscriminada cualquier elemento que se encuentre disponible. Debido a esto, se deben separar aquellos elementos que son esenciales para el crecimiento y el desarrollo de las plantas.

Todas las plantas, incluyendo el café, necesitan de agua y de diferentes moléculas orgánicas para su supervivencia; por lo tanto, los elementos que componen el agua (H₂O) y cualquier molécula orgánica formada a partir de carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H) son imprescindibles para su crecimiento y desarrollo. Estos elementos son tomados del agua que absorben las raíces y del dióxido de carbono (CO₂) que toman las plantas, o vía fotosíntesis.

Junto con el C, H y O, otros catorce elementos son requeridos para las funciones fisiológicas de las plantas, los cuales se absorben desde el suelo, razón por la cual se clasifican como minerales.



Seis de ellos tienen una demanda más alta y se denominan *macronutrientes*; la concentración de estos elementos en el tejido vegetal se mide, de modo general, en gramos por kilogramo de materia seca, y se expresa en términos de porcentaje. Los ocho restantes son exigidos en cantidades menores y se los denomina *micronutrientes*; su concentración se mide en miligramos por kilogramo, o en partes por millón (ppm).

La cantidad de nutrientes que absorben las plantas de café desde el suelo se puede ver afectada por las características del cultivo (especie/variedad), las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, las condiciones del clima (principalmente lluvia, temperatura, brillo solar, horas luz y vientos) y el manejo de los sistemas productivos. Las variedades presentes en las diferentes regiones de Colombia son resistentes a la roya y, por lo tanto, no pierden su vigor ante la presencia de la enfermedad, resultado que se ve reflejado en el crecimiento de la parte aérea y las raíces, lo cual mejora la toma de los nutrientes.

En cuanto a los suelos, los derivados de cenizas volcánicas (andisoles) presentan un mayor

contenido de materia orgánica, componente que constituye la principal fuente de nitrógeno, azufre y algunos micronutrientes para las plantas, y que además mejora las condiciones de aireación y retención de agua en el suelo. Sin embargo, en estos suelos la disponibilidad de fósforo es menor debido a la naturaleza de las arcillas que fijan (atrapan) el elemento. Por otro lado, en suelos con poca capacidad para retener agua (suelos arenosos y pobres en materia orgánica), particularmente aquellos que se localizan en regiones muy secas, es recomendable el establecimiento de árboles para brindar sombra al café. Regímenes de lluvia cercanos a los 2500 mm/año, y con buena distribución a lo largo del año, son los que más favorecen la nutrición de los cafetales. Cuando ocurre una baja precipitación (menor de 1500 mm/año) la absorción de los elementos requeridos se ve afectada, situación que perjudica el crecimiento de la planta y el llenado de los frutos. El exceso de lluvia aumenta la pérdida de los nutrientes por lixiviación o lavado. En lo que respecta al manejo, tienen particular relevancia las prácticas de conservación del suelo, la fertilización

y el control de la acidez, la siembra en épocas adecuadas, el control de malezas (arvenses), el control de plagas y enfermedades, el establecimiento de plantaciones con densidades adecuadas y la regulación de la sombra.

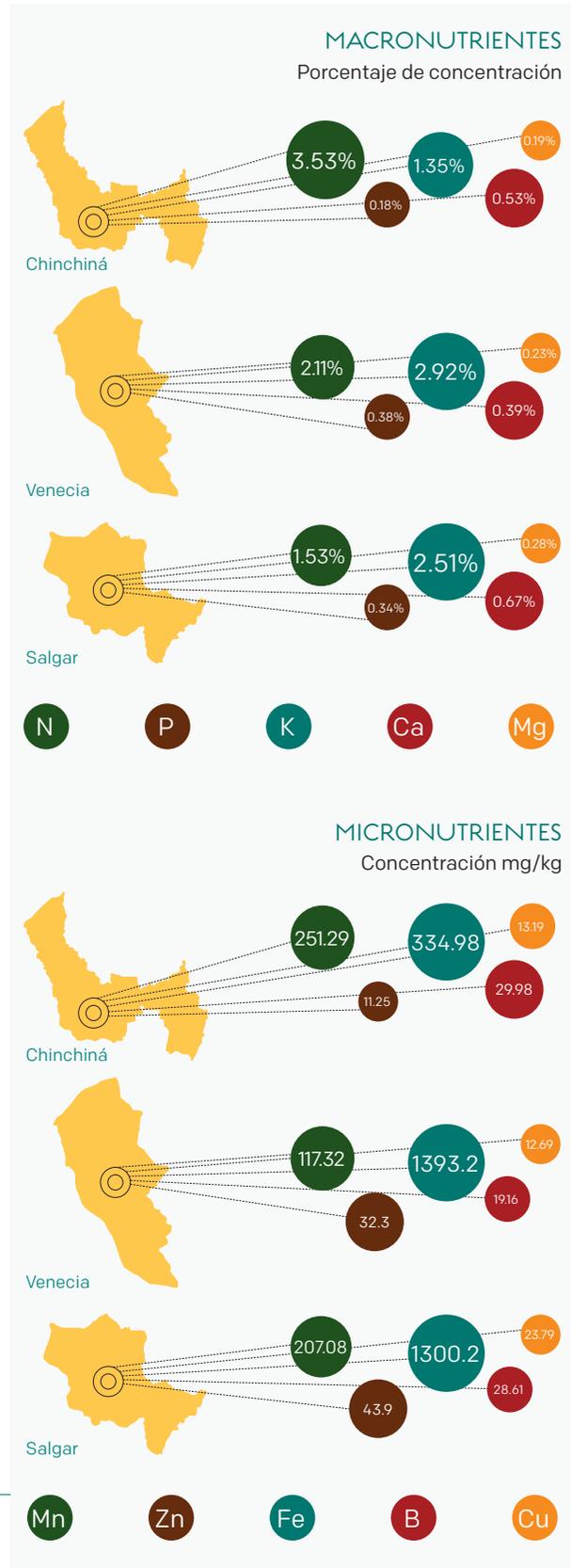
En los cultivos cafeteros, la cantidad de los elementos esenciales varía durante las diferentes etapas del cultivo. A continuación se presenta información obtenida para las condiciones de Colombia. En general, durante todas las fases del cultivo los dos macronutrientes predominantes en la planta son el nitrógeno y el potasio, seguidos, generalmente, por calcio, fósforo, magnesio y azufre. En cuanto a los micronutrientes, predomina el hierro y manganeso, seguido por zinc, cobre y boro.

Etapas de almácigo

Una vez que la plántula de café, o "chapola", alcanza el tamaño óptimo en el germinador (aproximadamente dos meses después de iniciar el proceso de la germinación de la semilla), se trasplanta a una bolsa plástica con solo suelo o mezclado con abonos orgánicos, lugar en el que permanecerá entre cuatro y seis meses, según el tamaño de la bolsa, la fertilidad del sustrato y las condiciones climáticas predominantes (humedad, temperatura y luz, principalmente).

Los valores de la concentración de nutrientes en plantas de café durante la etapa de almácigo, es variable. Esto se observa en tres unidades cartográficas de suelos de la zona cafetera de Colombia: departamentos de Caldas (Chinchiná) y Antioquia (Venecia y Salgar). En estas zonas se aprecian cambios en la cantidad de nutrientes asociados a diferencias de tipo de suelo. Por ejemplo, los bajos contenidos de fósforo y potasio en los suelos de la unidad Chinchiná (un andisol) se traducen en una menor absorción, y los altos niveles de materia orgánica se reflejan en la concentración de nitrógeno.

+ Concentración de nutrientes en café durante la etapa de almácigo en tres unidades de suelos de la zona cafetera de Colombia
Fuente: Cenicafé



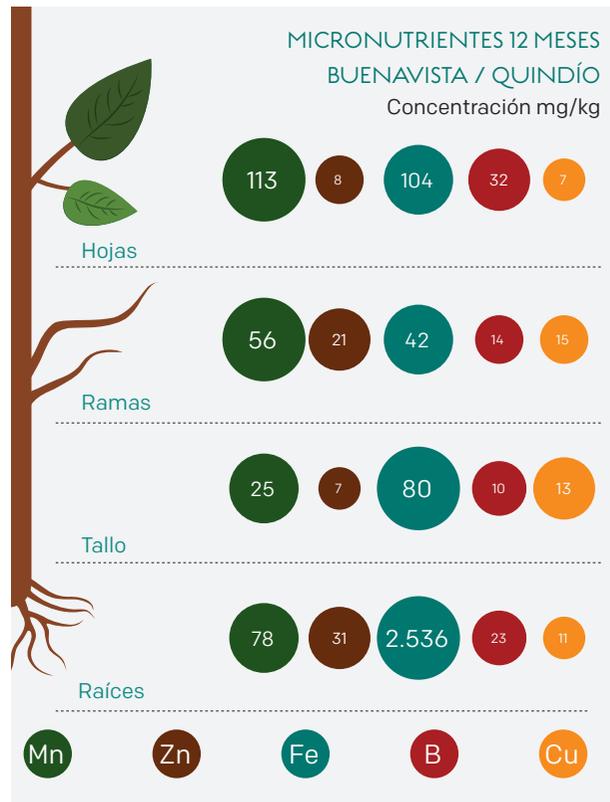
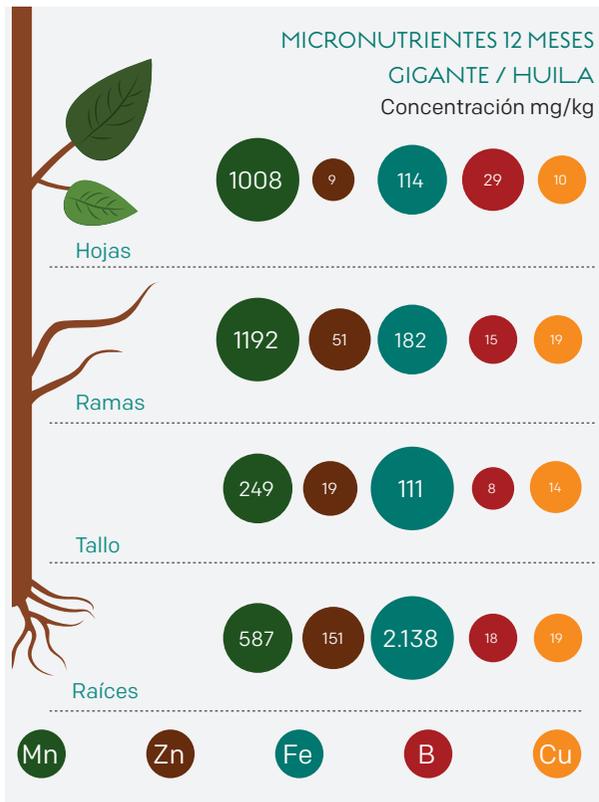
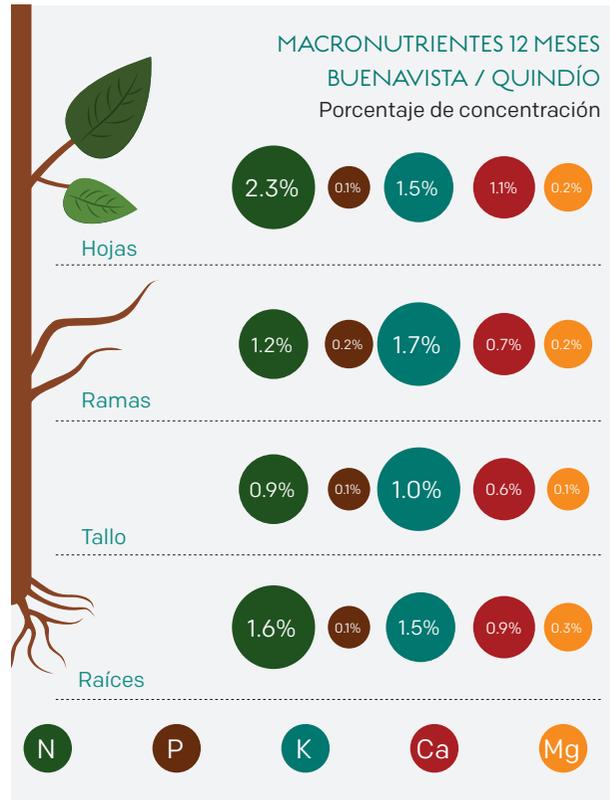
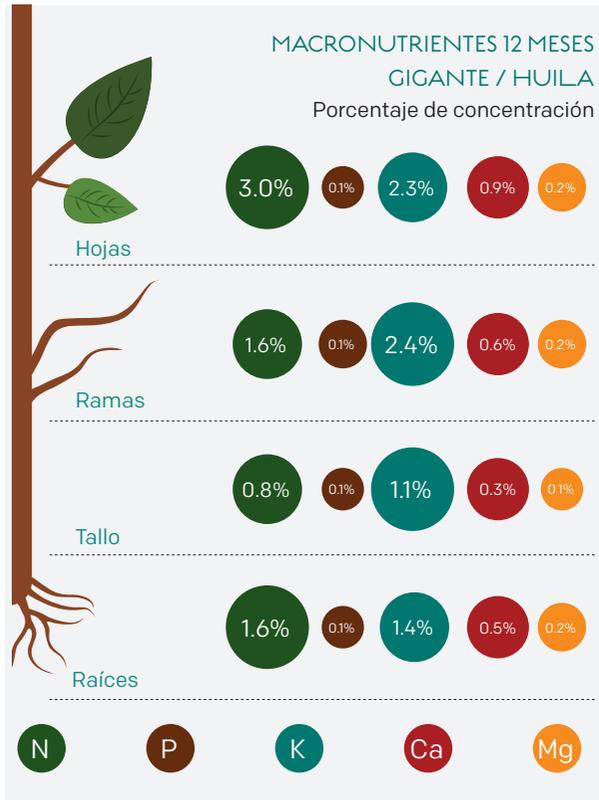


Planta de café durante la etapa de establecimiento del colino. Fotografía de Cenicafé

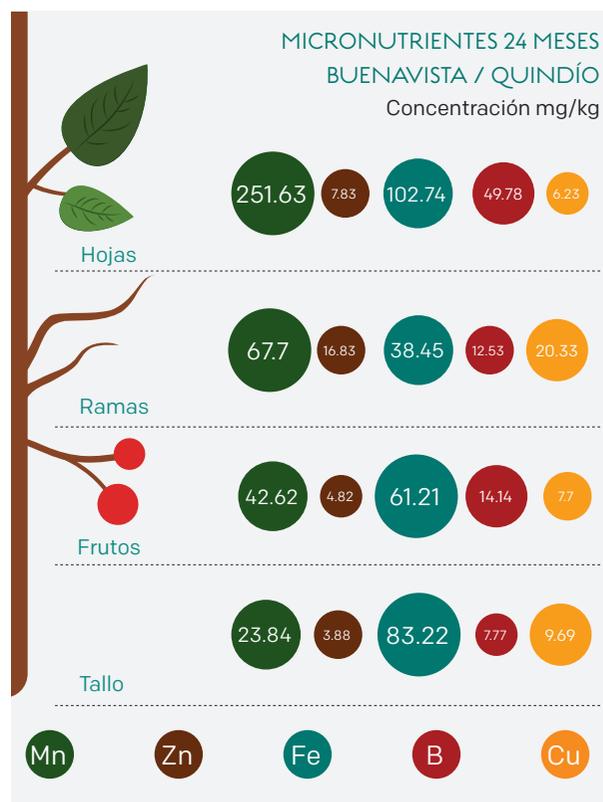
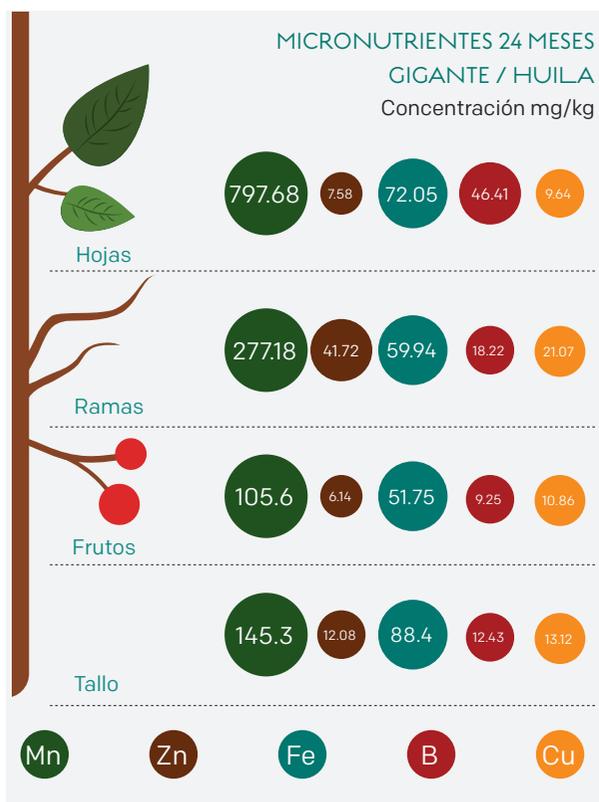
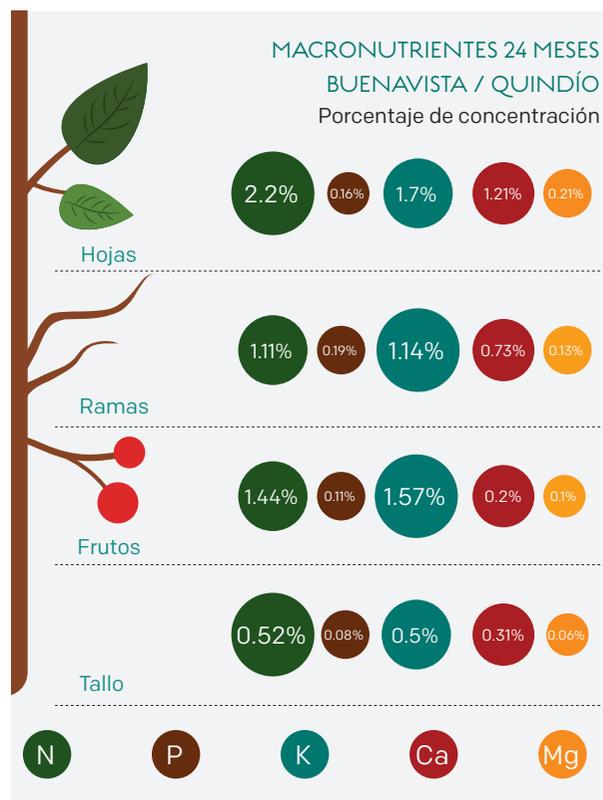
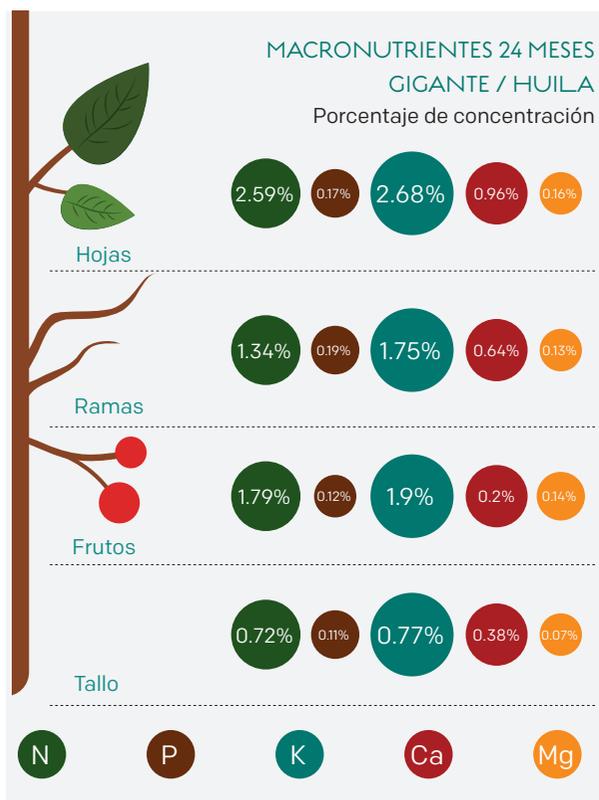
Etapa de establecimiento

Durante esta fase, que va desde la siembra del colino en el campo hasta un año después, aproximadamente, la planta de café presenta un crecimiento lento y, debido a ello, extrae del suelo cantidades relativamente bajas de nutrientes, según las condiciones del sitio y el manejo. Por ejemplo, las plantas de dos localidades de la zona cafetera

del país (Huila y Quindío), que presentan contrastes en suelos y clima, muestran concentraciones de macro y micronutrientes muy diferentes. Mientras que las concentraciones de manganeso en Quindío son bajas en todos los órganos de la planta, en Huila ocurre lo contrario, respuesta que se relaciona con la fertilidad natural del suelo.



+ Concentración de nutrientes en café según cada órgano de la planta, a los 12 meses de edad, en los municipios de Gigante (Huila) y Buenavista (Quindío). Fuente: Cenicafé



+ Concentración de nutrientes en café, según cada órgano de la planta, a los 24 meses de edad, en los municipios de Gigante (Huila) y Buenavista (Quindío). Fuente: Cenicafé

Etapa de producción

Al iniciar la fase reproductiva, es decir, entre los 18 y 24 meses después del trasplante en el campo, la planta de café crece con un ritmo más rápido y absorbe una mayor cantidad de nutrientes. En esta etapa, una gran parte de los nutrientes se acumula en los frutos, proceso que a su vez depende del desarrollo de los demás órganos de la planta, que también demandan los elementos requeridos.

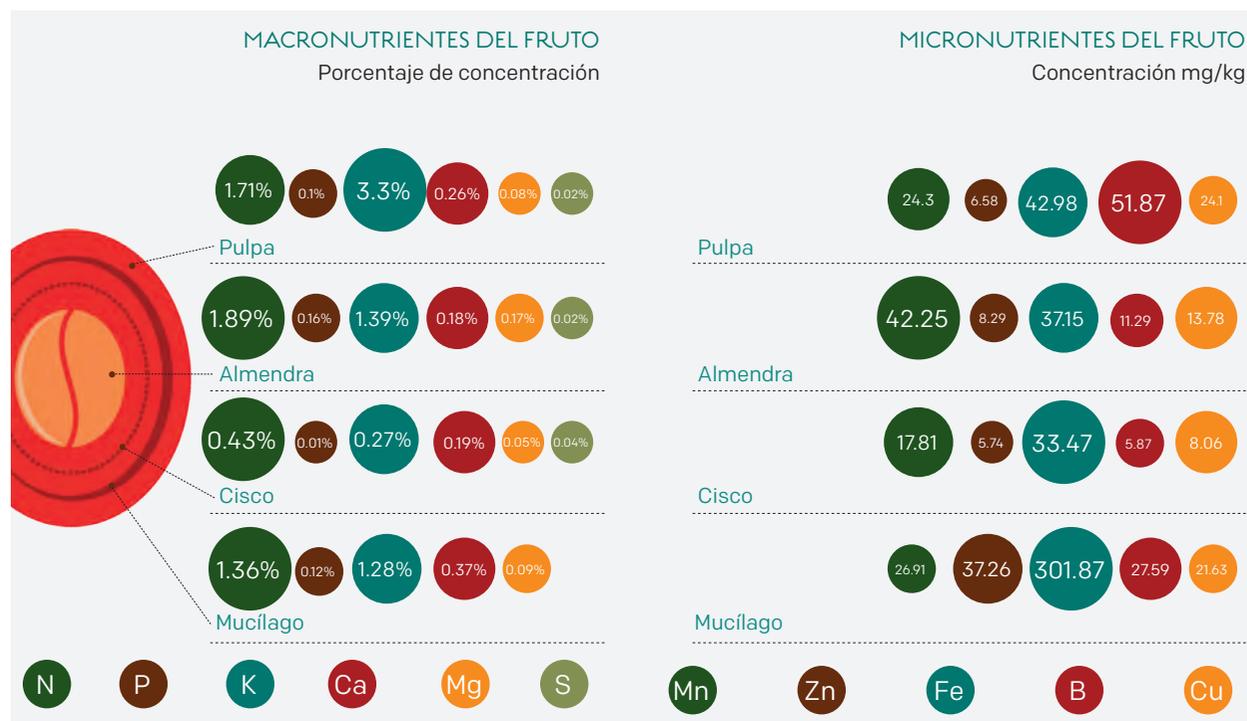
Las diferentes partes que componen el fruto del café difieren en su composición elemental. Por ejemplo, mientras en la almendra predomina el nitrógeno, en la pulpa es el potasio el nutriente imperante.

Con respecto a la almendra, cuyos compuestos determinan en buena medida la calidad física y organoléptica del café, se pueden presentar diferencias entre las producidas en diferentes regiones, de acuerdo con la riqueza natural del suelo y las prácticas culturales, principalmente la fertilización. Como ejemplo se puede observar en la tabla la composición de algunas muestras.



Planta de café durante la etapa de fructificación.
Fotografía de la Federación Nacional de Cafeteros





+ Composición elemental de las diferentes partes que componen el fruto de café.
Fuente: Cenicafé

Composición elemental de la almendra en diferentes regiones de Colombia

DEPARTAMENTO	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	B (mg/kg)
Antioquia	1.76	0.13	1.37	0.20	0.18	0.10	37.54	47.33	8.00	13.38	11.00
Caldas	2.04	0.18	1.38	0.31	0.19	0.12	42.39	47.64	9.75	15.85	16.58
Cauca	1.85	0.16	1.44	0.09	0.17	SD	32.11	33.32	6.21	15.32	7.89
Cesar	1.66	0.10	1.53	0.11	0.13	SD	21.42	28.50	7.17	11.25	12.25
Cundinamarca	1.80	0.16	1.27	0.12	0.15	SD	34.31	23.00	7.25	11.81	11.31
Huila	1.86	0.16	1.37	0.08	0.15	SD	28.27	121.05	8.00	12.73	6.82
Magdalena	1.84	0.15	1.00	0.11	0.11	SD	26.00	22.25	6.75	6.25	10.75
Nariño	1.86	0.17	1.46	0.10	0.16	SD	45.50	49.25	8.92	12.42	7.00
N. de Santander	1.87	0.17	1.43	0.11	0.16	SD	29.15	31.42	9.35	15.85	9.54
Quindío	1.84	0.13	1.44	0.14	0.16	0.10	34.46	36.65	7.08	12.19	10.58
Risaralda	1.86	0.15	1.51	0.14	0.16	0.10	35.34	33.56	7.60	14.31	8.47
Santander	1.93	0.16	1.28	0.09	0.14	SD	38.30	30.90	7.00	9.90	8.70
Tolima	1.83	0.14	1.35	0.15	0.16	0.13	41.76	27.80	7.78	13.02	9.06
Valle del Cauca	1.78	0.13	1.27	0.10	0.14	SD	35.46	31.19	7.73	10.46	8.19

SD: sin datos

Fuente: Cenicafé

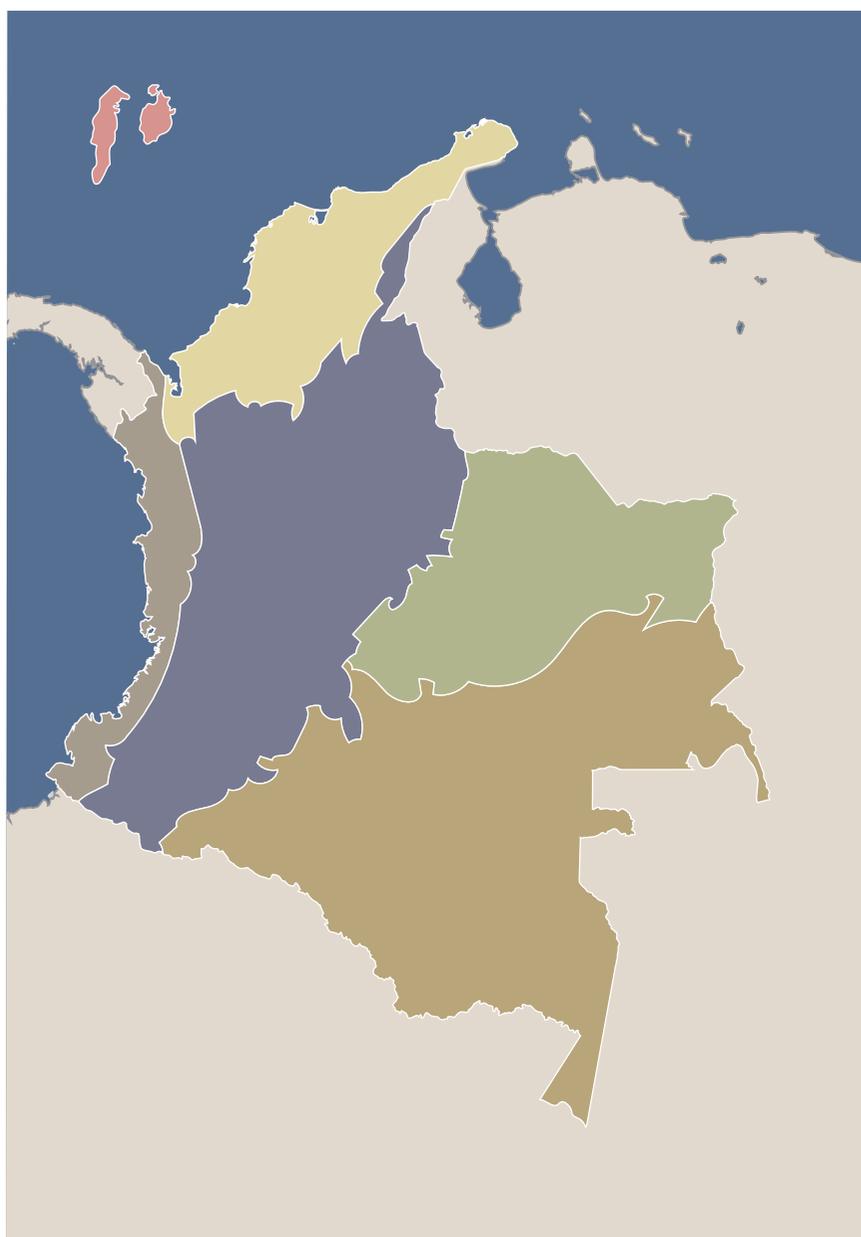
HACIENDO COLOMBIA: UNA HISTORIA GEOLÓGICA

Generalidades de la geología colombiana

El territorio colombiano tiene áreas continentales y oceánicas. La parte continental comprende, en el oriente, las planicies de los ríos Orinoco y Amazonas; en el centro, la cadena montañosa andina; en el occidente, las zonas costeras del océano

Pacífico; en el norte, las llanuras del río Magdalena y las zonas costeras de mar Caribe, y en el sur, la extensión de los Andes colombianos. Las zonas oceánicas corresponden al mar Caribe y al océano Pacífico, que presentan varias zonas insulares (p. ej.: el Archipiélago de San Andrés y Providencia y las islas de Malpelo y Gorgona).

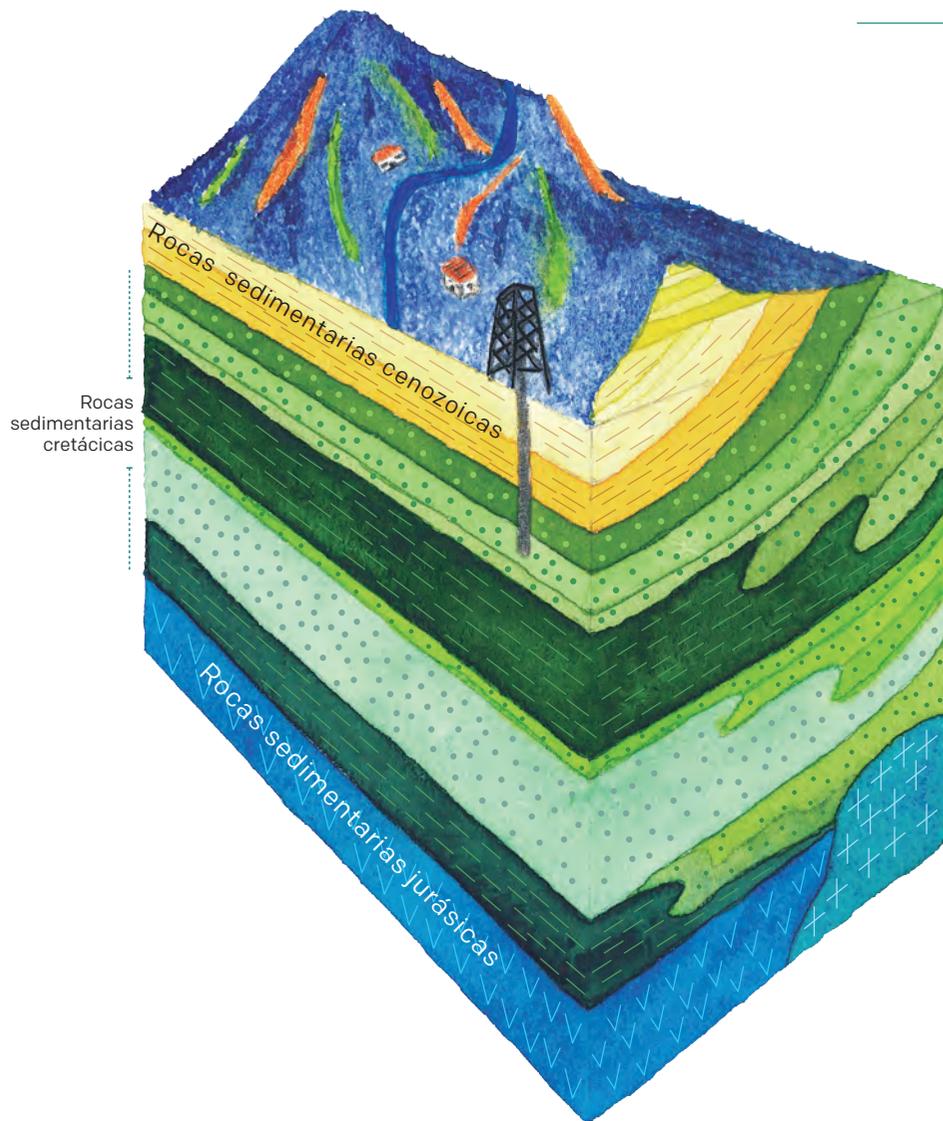
Una de las características fisiográficas más importantes de la geografía colombiana es la presencia de tres cordilleras, que constituyen la



Esquema de las unidades fisiográficas de Colombia. Adaptado y modificado del Mapa de Regiones Naturales de Colombia, IGAC, 1997

REGIONES NATURALES DE COLOMBIA

- Región caribe
- Región pacífico
- Región andina
- Región orinoquía
- Región amazónica
- Región insular

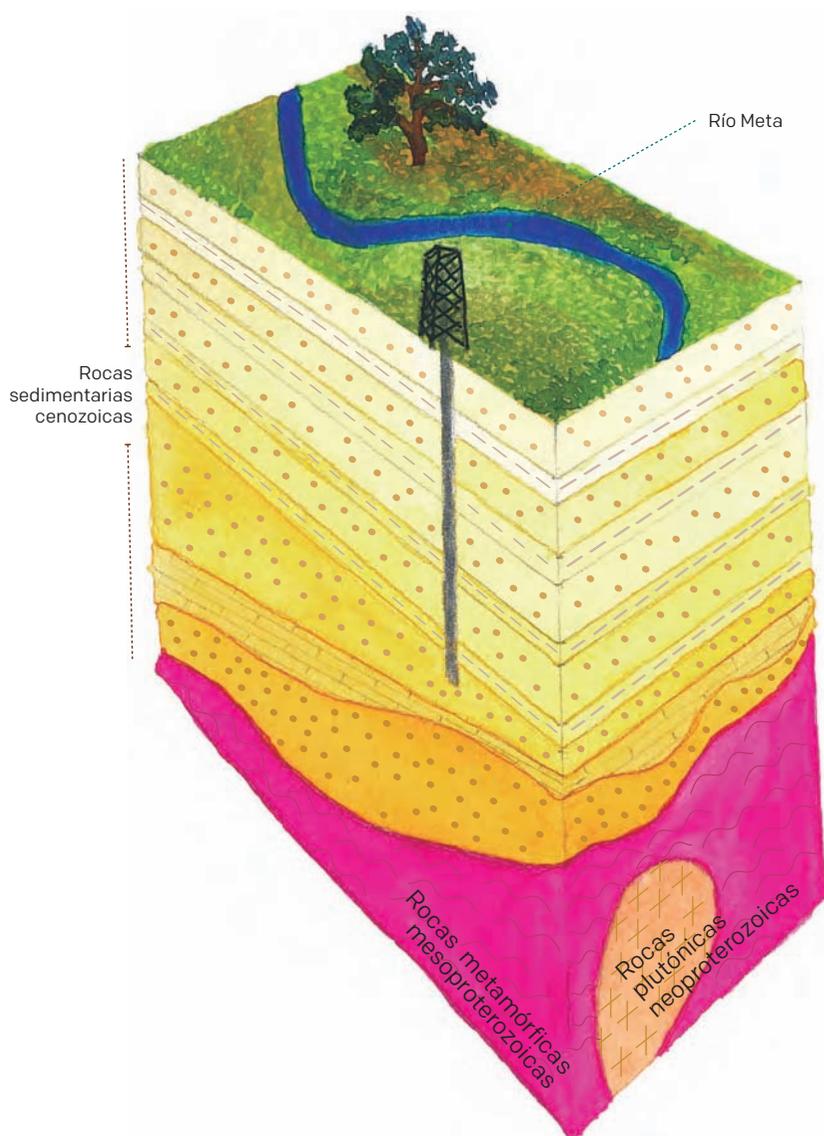


Columna estratigráfica de la cordillera Oriental. Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza

parte más norte de la cadena montañosa andina. Estas cordilleras (Oriental, Central y Occidental) atraviesan el territorio colombiano de norte a sur y están separadas por los valles de los ríos Magdalena y Cauca. La cadena montañosa andina está limitada por las planicies de los ríos Orinoco y Amazonas, en el Oriente, por el valle inferior del Magdalena en el norte, y las áreas litorales de la región pacífica en el occidente. Además de estas cordilleras, el territorio colombiano presenta varios sistemas de serranías separadas de la ca-

dena andina, que se encuentran en la parte norte de Colombia (p. ej.: Sierra Nevada de Santa Marta, serranía del Perijá y serranías de la Guajira; Cocinas, Macuira y Jarará).

Los accidentes geográficos arriba mencionados se pueden explicar a partir de la evolución geológica del territorio colombiano. La parte más oriental de Colombia incluye el registro geológico de los ríos Orinoco y Amazonas, además de rocas sedimentarias de la era Cenozoica (más jóvenes que 37 Ma). Estas rocas se sedimentaron sobre



Columna estratigráfica de los llanos orientales. Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza

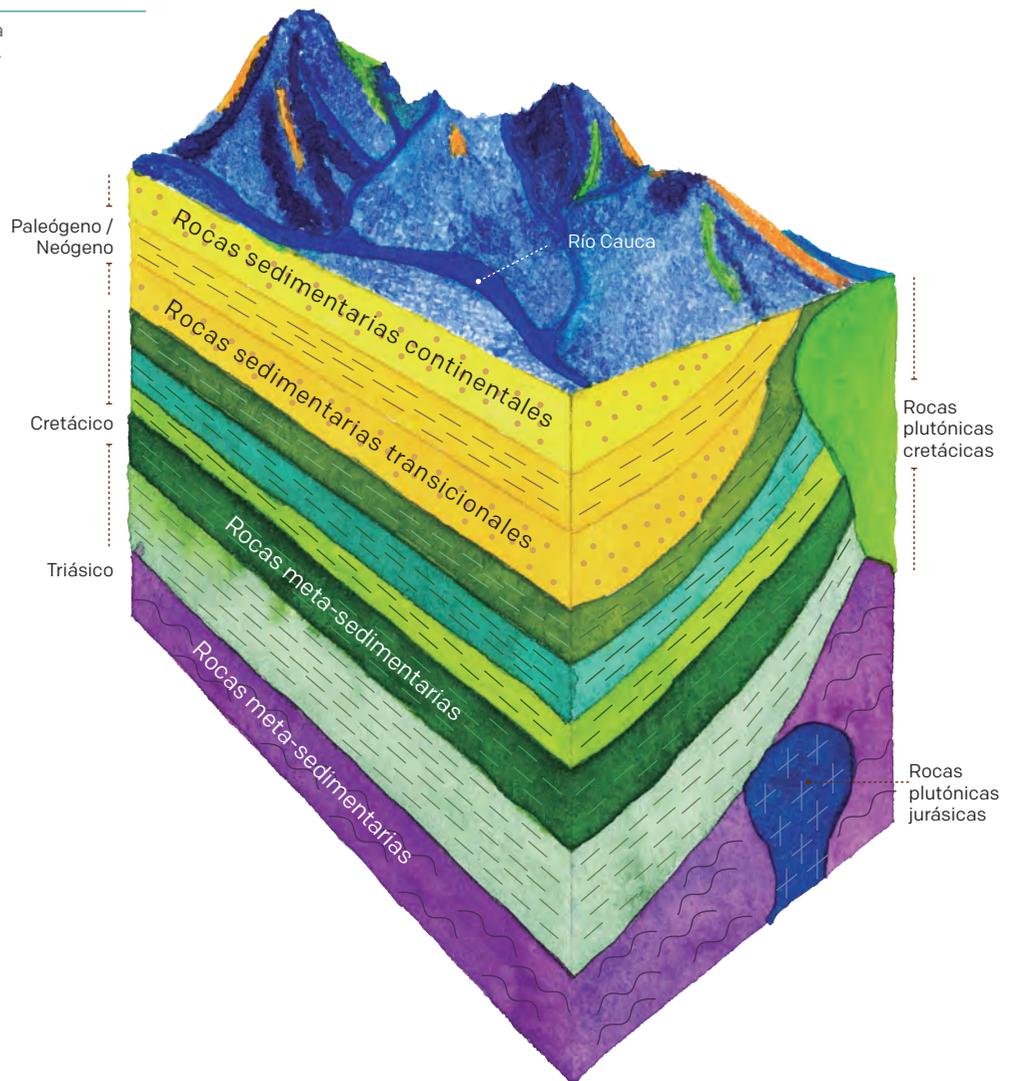
una gran parte de las rocas ígneas y metamórficas de la edad Precámbrica (541 Ma más antiguas), que constituyen las rocas más antiguas de nuestro territorio. Estas rocas pertenecen al Escudo de la Guyana, que se extiende hacia el sur y el oriente del continente, y cubre parte de los territorios de Perú, Venezuela, Brasil y las Guayanas.

Las planicies de los ríos Orinoco y Amazonas se encuentran limitadas al occidente por la cordillera Oriental, que en su mayor parte está consti-

tuida por rocas y depósitos sedimentarios, tanto de origen marino como continental, que datan desde el inicio de la era Paleozoica (hace 541 Ma) hasta el presente.

Estas rocas son similares a las que se encuentran en la serranía del Perijá y en la cordillera de Mérida, en Venezuela, pues son extensiones situadas más al norte de la cordillera Oriental colombiana.

+ Columna estratigráfica de la cordillera Central. Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza



Rocas ígneas y metamórficas de la era Precámbrica también se encuentran en algunos sectores de la cordillera Oriental, en los departamentos de Santander, Meta, Caquetá y Huila.

La cordillera Oriental colombiana está separada de la cordillera Central por el valle del río Magdalena, la arteria fluvial más importante de Colombia. Los depósitos sedimentarios recientes del Río Magdalena cubren gran parte del registro sedimentario (Jurásico – Cenozoico) de la cordillera Oriental, que se extiende en sub-superficie.

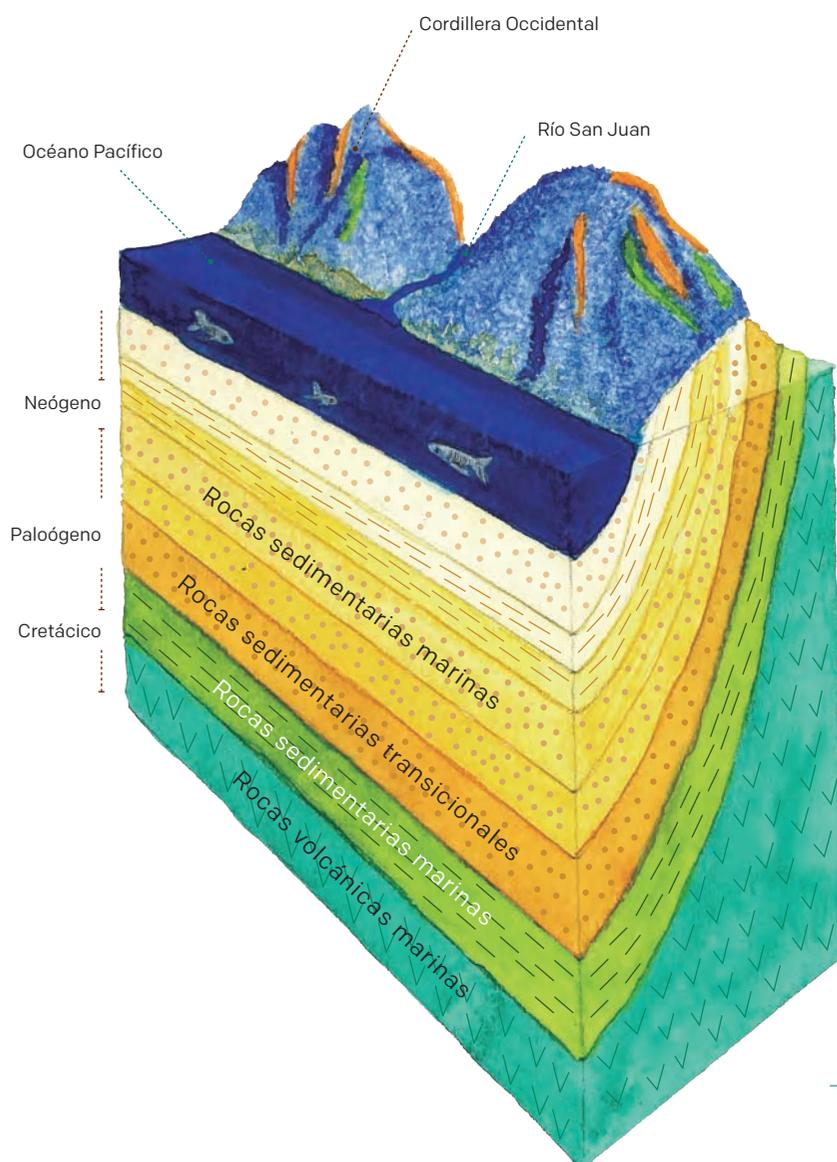
La cordillera Central, por su parte, está cons-

tituida por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias de origen continental y marino, cuyas edades varían desde el Carbonífero (era Paleozoica) hasta el Cretácico (era Mesozoica). Estas rocas son comunes también en la Sierra Nevada de Santa Marta y las serranías de Macuira y Jarrará, en el norte de Colombia. Rocas sedimentarias y volcánicas continentales del Mioceno-Plioceno (11-5.3 Ma) revisten gran parte de las rocas precenozoicas de la cordillera Central. Una gran porción de la cordillera Central colombiana ha sido también cubierta por cenizas provenientes

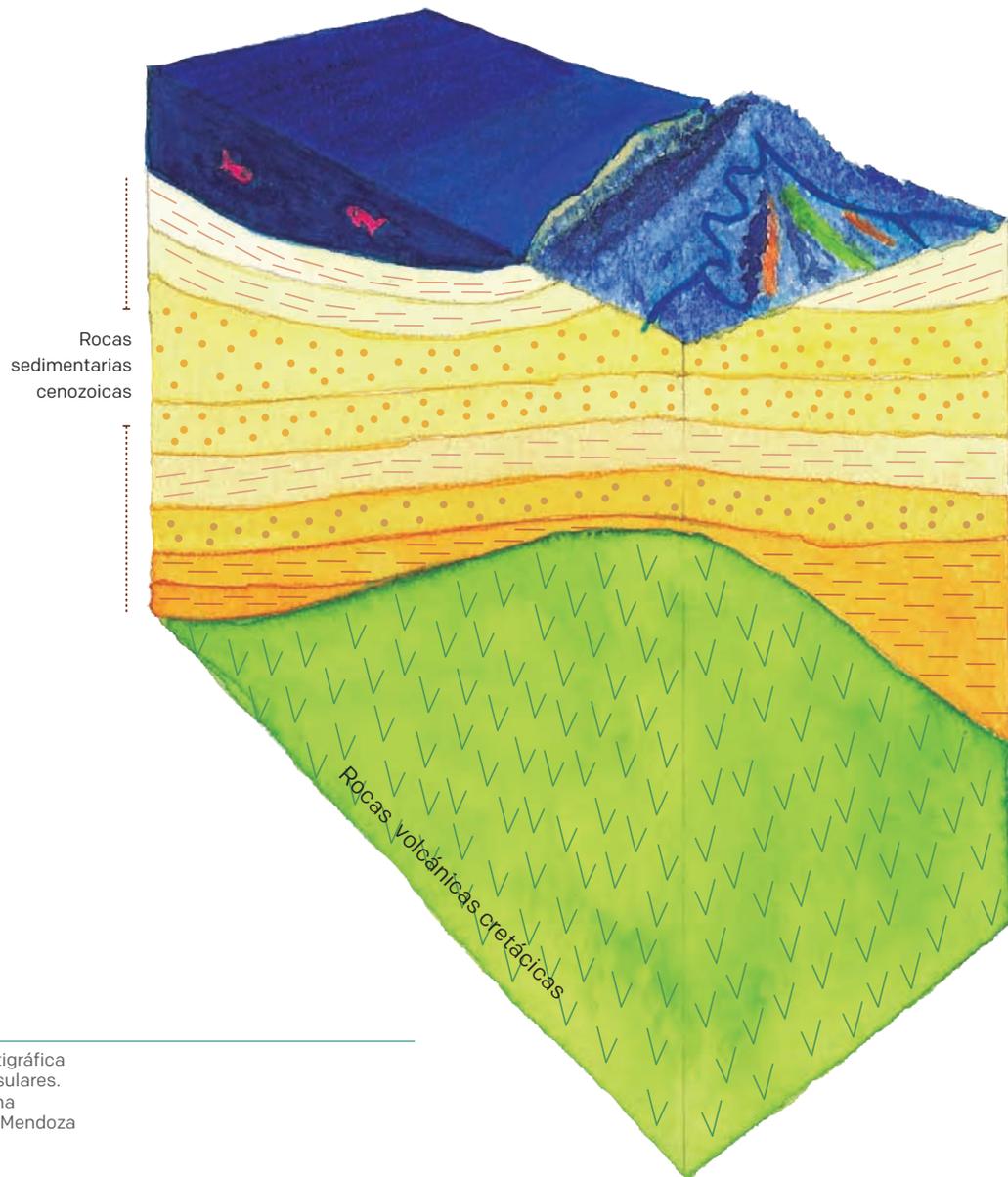
de erupciones volcánicas más recientes de 2.8 Ma, que han configurado las principales unidades geológicas que han dado origen a los materiales parentales de muchos suelos cafeteros.

La cordillera Central está separada de la cordillera Occidental por el valle del río Cauca, segunda arteria fluvial más importante de Colombia. A diferencia de la cordillera Central, la cordillera Occidental está compuesta en su mayoría por ro-

cas ígneas (volcánicas e intrusivas) y sedimentarias de origen oceánico, cuyas edades van desde el Cretácico hasta el Oligoceno (125-28 Ma). Algunas de las unidades geológicas presentes en la parte norte de la cordillera Occidental se extienden hasta Panamá, y en su interior se esconden el registro de uno de los eventos geológicos más importantes del mundo: el cierre del istmo de Panamá.



Columna estratigráfica de la cordillera Occidental. Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza



+ Columna estratigráfica de las zonas insulares. Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza

Finalmente, el territorio colombiano también comprende una parte oceánica, donde se encuentran varias áreas emergidas denominadas *islas* y *archipiélagos*. Las áreas marinas emergidas más importantes son el archipiélago de San Andrés y Providencia, la isla Gorgona y la isla de Malpelo. Todas ellas están formadas por rocas volcánicas e intrusivas cretácicas y cenozoicas de origen marino, que posteriormente han sido

cubiertas por rocas sedimentarias de origen marino del Cenozoico. Mientras que el archipiélago de San Andrés y Providencia posee la reserva natural de arrecifes coralinos más grande de Colombia, la isla de Malpelo exhibe el único registro geológico existente en Colombia del increíble impacto del meteorito que extinguió los dinosaurios hace 65 millones de años.

Evolución geológica de Colombia

La evolución geológica del norte de Suramérica se puede estudiar a partir de las rocas que se encuentran en el territorio colombiano. Dicha evolución ha estado influida por la interacción de varios factores, como la actividad tectónica, la actividad volcánica, los cambios climáticos, los cambios del nivel del mar y los cambios biológicos, entre otros. La interacción de estos factores ha dejado un registro geológico extraordinariamente diverso, que es patrimonio nacional.

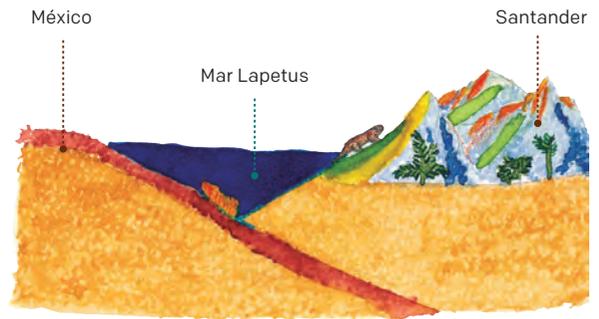
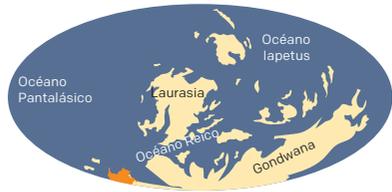
La evolución geológica de Colombia está científicamente bien documentada desde el final de la era Paleozoica (300-250 Ma), cuando el territorio colombiano hacía parte del supercontinente Pangea, que resultó de la unión de los continentes Gondwana y Laurasia (340 Ma). La documentación de la evolución geológica de Colombia del periodo previo a la formación del supercontinente Pangea es menos clara. Estudios geológicos sugieren que antes de la aglutinación de Pangea, el territorio colombiano hacía parte del continente Gondwana, junto con fragmentos de los actuales continentes de Suramérica, África, Oceanía, India y Antártida. Por entonces, Norteamérica, Europa y Asia hacían parte del continente Laurasia, separado de Gondwana por los océanos Reico e Iapetus. Durante el final del Paleozoico, más específicamente durante el Devónico-Carbonífero (410-290 Ma), el territorio colombiano estaba cubierto por el mar. Relictos de rocas sedimentarias dejadas por este mar se encuentran a lo largo de la cordillera Oriental colombiana.

Durante el límite entre las eras Paleozoica y Mesozoica, límite entre los periodos Pérmico y Triásico, el territorio colombiano estaba localizado en latitudes ecuatoriales a lo largo de la margen occidental del supercontinente Pangea. Pangea se encontraba rodeada por el océano

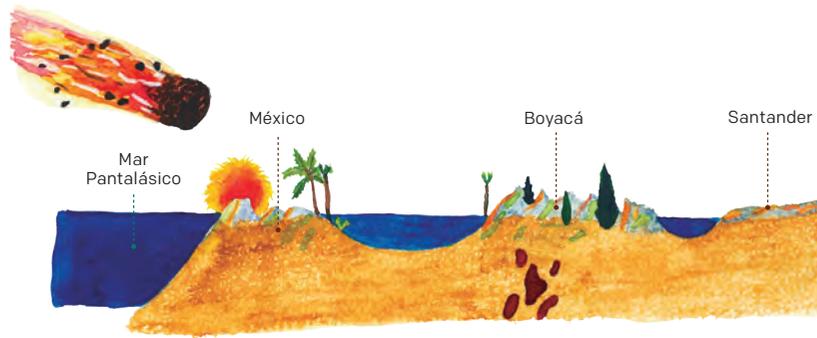
Pantalásico, que a su vez estaba en contacto con el mar de Tetis, que era de carácter semirrestringido y se encontraba en la parte interior de Pangea. En Colombia, el registro geológico Pérmico-Triásico está constituido principalmente por rocas ígneas que se encuentran hoy en día a lo largo de la cordillera Central. Estas rocas, que intruyeron otras más antiguas (del Paleozoico Medio), hacían parte de un gran sistema montañoso orogénico llamado Gonwanides, que se extendía a lo largo de la margen occidental y sur del supercontinente Pangea. En la actual cordillera Oriental, las rocas sedimentarias calcáreas marinas del Pérmico-Triásico, evidencian que el océano Pantalásico llegó a inundar las márgenes del Escudo de la Guyana.

Posteriormente, durante el periodo Jurásico, el supercontinente Pangea comenzó a fragmentarse, y entonces Laurasia y Gondwana nuevamente se separaron. En Colombia, el inicio de esta separación quedó registrado en las rocas sedimentarias y volcano-sedimentarias continentales del Jurásico Temprano, que en la actualidad se encuentran en la cordillera Oriental y a lo largo de las serranías del norte de Colombia (Perijá, Sierra Nevada de Santa Marta, Macuira y Jarará). Estos registros sedimentarios, que se caracterizan por la presencia de capas rojas, fueron depositados por grandes sistemas de ríos que atravesaban el territorio colombiano durante un periodo de altas temperaturas globales. Las altas temperaturas globales fueron el resultado del efecto invernadero originado por grandes adiciones de CO₂ volcánico a la atmósfera. El efecto global de las altas temperaturas es evidenciado por la presencia de depósitos continentales ricos en capas rojas, en gran parte de los territorios de Norteamérica, Perú, Bolivia, Venezuela y México.

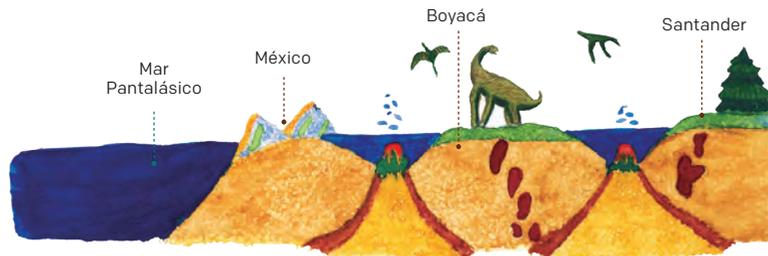
a 400 Ma



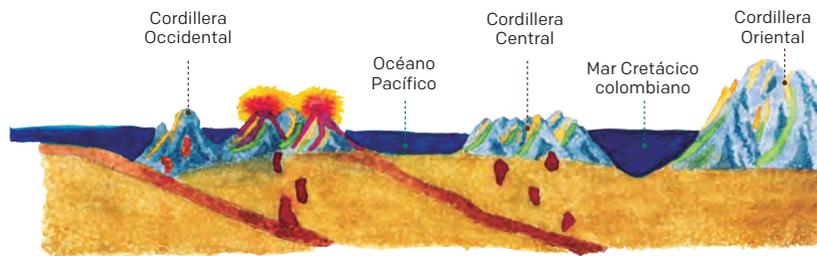
b 250 Ma



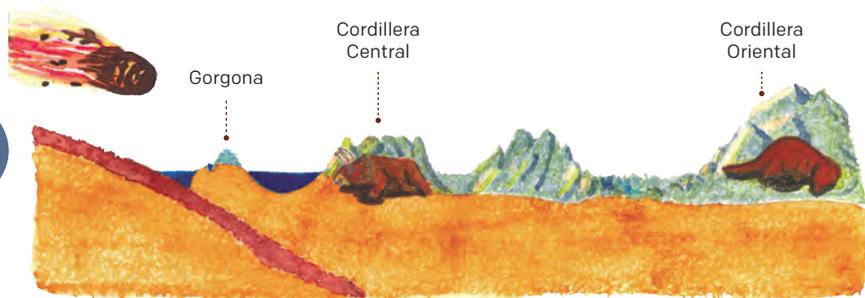
c 150 Ma



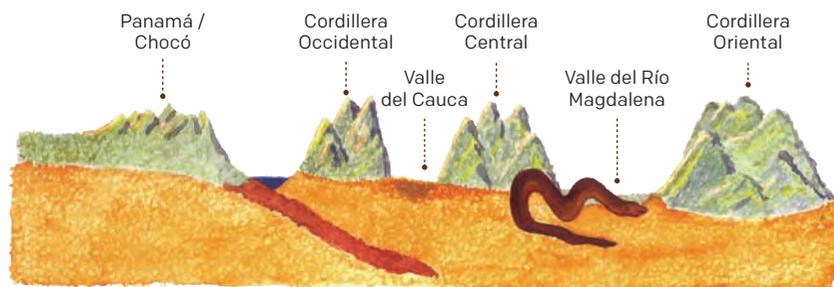
d 100 Ma



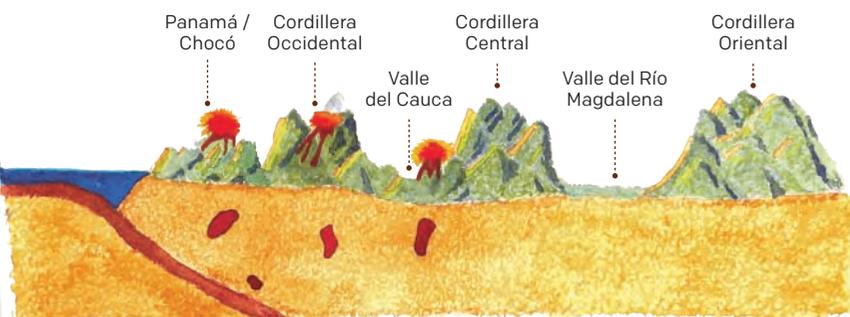
e 65 Ma



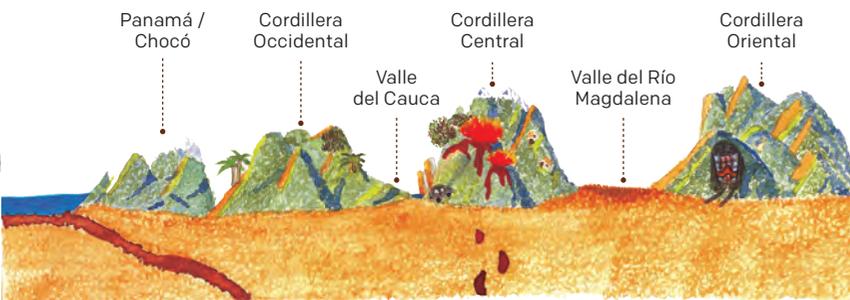
f 55 Ma



g 15 Ma



h Presente



+

- a. Localización geográfica de Colombia durante el Devónico (380 Ma). Nótese que Colombia se encontraba en latitudes altas, hacía parte del continente Gondwana.
- b. Localización geográfica de Colombia durante la parte final del periodo Pérmico (260 Ma). Nótese cómo la parte occidental de Colombia (actual cordillera Central) presentaba cadenas montañosas que resultaron de la orogenia Gonwanide. Obsérvese también cómo un mar poco profundo ocupaba gran parte de lo que hoy es la cordillera Oriental y se extendía a Venezuela y Perú. Notesé, además, cómo un meteorito pudo haber causado la madre de todas las extinciones al final del Paleozoico (Pérmico).
- c. Localización geográfica de Colombia durante el periodo Júpico (150 Ma). Nótese que el supercontinente Pangea se fragmenta y Laurasia se separa de Gondwana. También se puede observar cómo el territorio colombiano se queda unido a Gondwana. Asimismo, es evidente cómo durante este periodo gran parte del territorio colombiano se encontraba emergido.
- d. Localización geográfica de Colombia durante el Cretácico Temprano (120 Ma). Nótese que Laurasia se ha separado de Gondwana. También se puede apreciar cómo el continente suramericano se comienza a separar del africano. Obsérvese también cómo durante este periodo gran parte del territorio colombiano se encontraba inundado por el océano.
- e. Localización geográfica de Colombia durante el final de Mesozoico y el inicio del Cenozoico (límite Cretácico-Paleoceno, 65 Ma). Nótese cómo los continentes suramericano y africano se han separado completamente. En Colombia los mares del Cretácico comienzan a retirarse y llegan nuevas masas de tierras asociadas a la placa tectónica del Caribe. En este periodo el calentamiento global y el impacto de un meteorito causaron la muerte de los dinosaurios.
- f. Localización geográfica de Colombia durante la primera parte del Cenozoico (Paleógeno). Nótese cómo la mayoría del territorio colombiano está sobre tierras emergidas.
- g. Localización geográfica de Colombia durante el Mioceno Tardío. Obsérvese cómo la mayoría del territorio colombiano ya presenta la configuración actual. También se puede apreciar cómo el istmo de Panamá está casi completamente cerrado y separando el océano Pacífico del mar Caribe. Esto permitió el intercambio biológico entre Norte y Suramérica hace 4 millones de años
- h. Configuración actual del territorio colombiano.



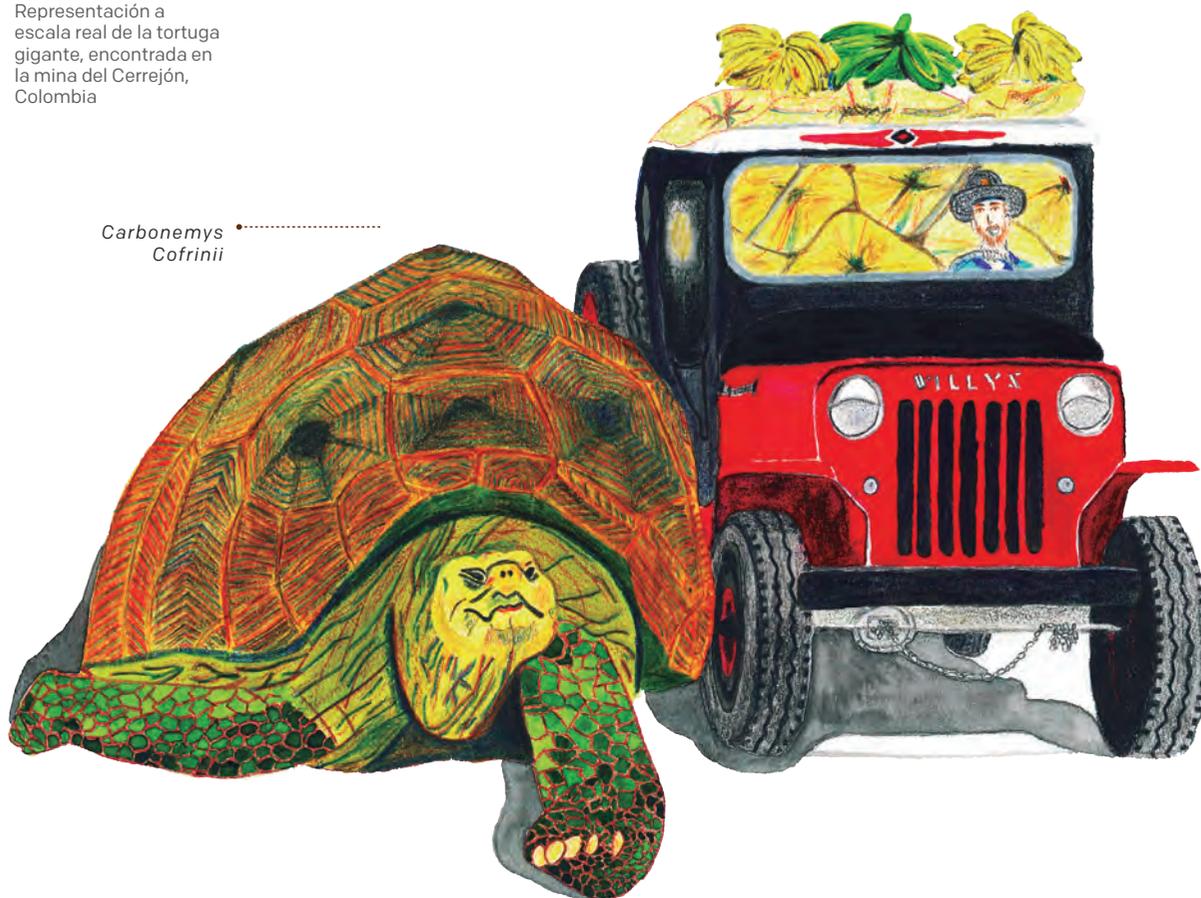
La evolución geológica del norte de Suramérica se puede estudiar a partir de las rocas que se encuentran en el territorio colombiano. Dicha evolución ha estado influenciada por la interacción de varios factores, como la actividad tectónica, la actividad volcánica, los cambios climáticos, los cambios del nivel del mar y los cambios biológicos, entre otros. La interacción de estos factores ha dejado un registro geológico extraordinariamente diverso, que es patrimonio nacional.

El pico de la separación de Laurasia y Gondwana ocurrió hace 150 Ma, en el Jurásico Medio-Tardío. Durante este periodo de tiempo, el territorio colombiano permaneció unido a la parte noroccidental del continente Gondwana. La fragmentación del supercontinente Pangea dio paso a la formación de un mar llamado Atlántico Central, que se comunicaba con el océano Pacífico y el mar de Tetis. A medida que los dos continentes se separaban, grandes incursiones marinas ocurrían en el norte de Colombia, mientras que en el centro y oriente del territorio dominaban planicies de ríos. Siguiendo el curso de la evolución a partir de la separación de Laurasia y Gondwana, durante el periodo Cretácico, tuvo lugar el establecimiento del Atlántico norte. Durante el Cretácico Temprano (145-113 Ma), el mar inundó las tierras bajas emergidas del centro del territorio colom-

biano a lo largo de lo que se conoce como *cuenca Cretácica Marina de Colombia*. Este registro sedimentológico se encuentra actualmente en las cordilleras Oriental y Central. Estas transgresiones marinas (entrada del mar al continente) ocurrieron bajo la influencia de climas cálidos extremos que dejaron registros sedimentarios caracterizados por la presencia de carbonatos, lutitas y *cherts*, con abundantes materiales fósiles. El registro fósil más reconocido es el de la zona de Villa de Leyva, donde se han encontrado grandes reptiles acuáticos (plesiosauros e ictosaurios, entre otros) del Cretácico Temprano.

Más tarde, durante el Cretácico Tardío, el mar que invadió el centro y oriente de Colombia comenzó a retirarse. El retroceso del mar (regresión) coincidió con el levantamiento inicial de la cordillera Central y dio paso a la ocurrencia de zonas

+ Representación a escala real de la tortuga gigante, encontrada en la mina del Cerrejón, Colombia



Carbonemys
Cofrinii

emergidas donde predominaron sedimentos típicos de zonas litorales y deltas. El Cretácico Tardío también puso en evidencia la llegada de las rocas volcánicas y sedimentarias de origen marino que componen gran parte de la cordillera Occidental. Estas rocas se originaron en el occidente del continente suramericano durante el Cretácico Temprano. Durante el Cretácico Tardío también se registró la división del continente Gondwana y la separación de Suramérica de África. Esta separación dio origen al paleotrópico (África septentrional) y al neotrópico (Suramérica septentrional), donde quedó ubicada Colombia.

A comienzos de la era Cenozoica (Paleoceno-Eoceno, 66-33 Ma) comenzó la elevación de las tierras bajas del centro y oriente colombiano. En este proceso, conocido como orogenia preandina, se originaron las cordilleras Central y Oriental, y con ellas se formaron los valles superior, medio y bajos del río Magdalena. Para ese entonces, la zona norte de Colombia, los llanos orientales, la Orinoquia y la Amazonia continuaban siendo tierras bajas. El registro geológico de este periodo consiste principalmente de rocas sedimentarias, la mayoría de origen continental (depósitos de ríos).

Por otro lado, el registro geológico y paleontológico colombiano muestra la existencia de un clima extremadamente cálido que generó alta pluviosidad a lo largo de nuestro territorio, con lo cual se formaron grandes zonas pantanosas donde se depositaron sedimentos ricos en ma-

teria orgánica. Tuvieron que pasar millones de años para que estos pantanos se convirtieran en espesos mantos de carbón durante el Cenozoico Tardío (Mioceno-Plioceno). Estos sedimentos esconden uno de los registros fósiles más ricos y diversos de Colombia. Un ejemplo es el registro fósil de El Cerrejón, donde fue hallado recientemente el fósil de la boa constrictora más grande registrada hasta ahora en el mundo, la *Titanoboa cerrejonensis*. En ese mismo periodo vivieron tortugas gigantes que podían comer cocodrilos y alcanzaban el tamaño de un automóvil.

Durante el Oligoceno (33-23 Ma) la cordillera Occidental comenzó a elevarse, al tiempo que las cordilleras Central y Occidental aceleraban su levantamiento, debido a la tectónica de placas. Este periodo coincidió con la interacción de masas continentales de Centro y Suramérica, y que alcanzó su clímax en el Mioceno, cuando se cerró el istmo de Panamá (13 Ma). Este evento dio paso a dos de los más grandes sucesos biológicos de la Tierra de los últimos 65 millones de años: el intercambio de biota entre Norteamérica y Suramérica y el nacimiento de la selva amazónica. En el intervalo del Mioceno-Plioceno se inició la orogenia andina, y con ella se reactivó la actividad magmática a lo largo de las cordilleras Occidental y Central. Este magmatismo generó rocas volcánicas y volcano-sedimentarias que se extienden a lo largo de los valles de los ríos Cauca y Magdalena.



*Titanoboa
cerrejonensis*

+ Representación a escala real de la *Titanoboa cerrejonensis*. Nótese como las vértebras fósiles de este ejemplar, que fueron encontradas en la mina de carbón de El Cerrejón, en el norte de Colombia, son de mayor dimensión que aquellas de la constrictora más grande que existe actualmente en el planeta Tierra.
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza



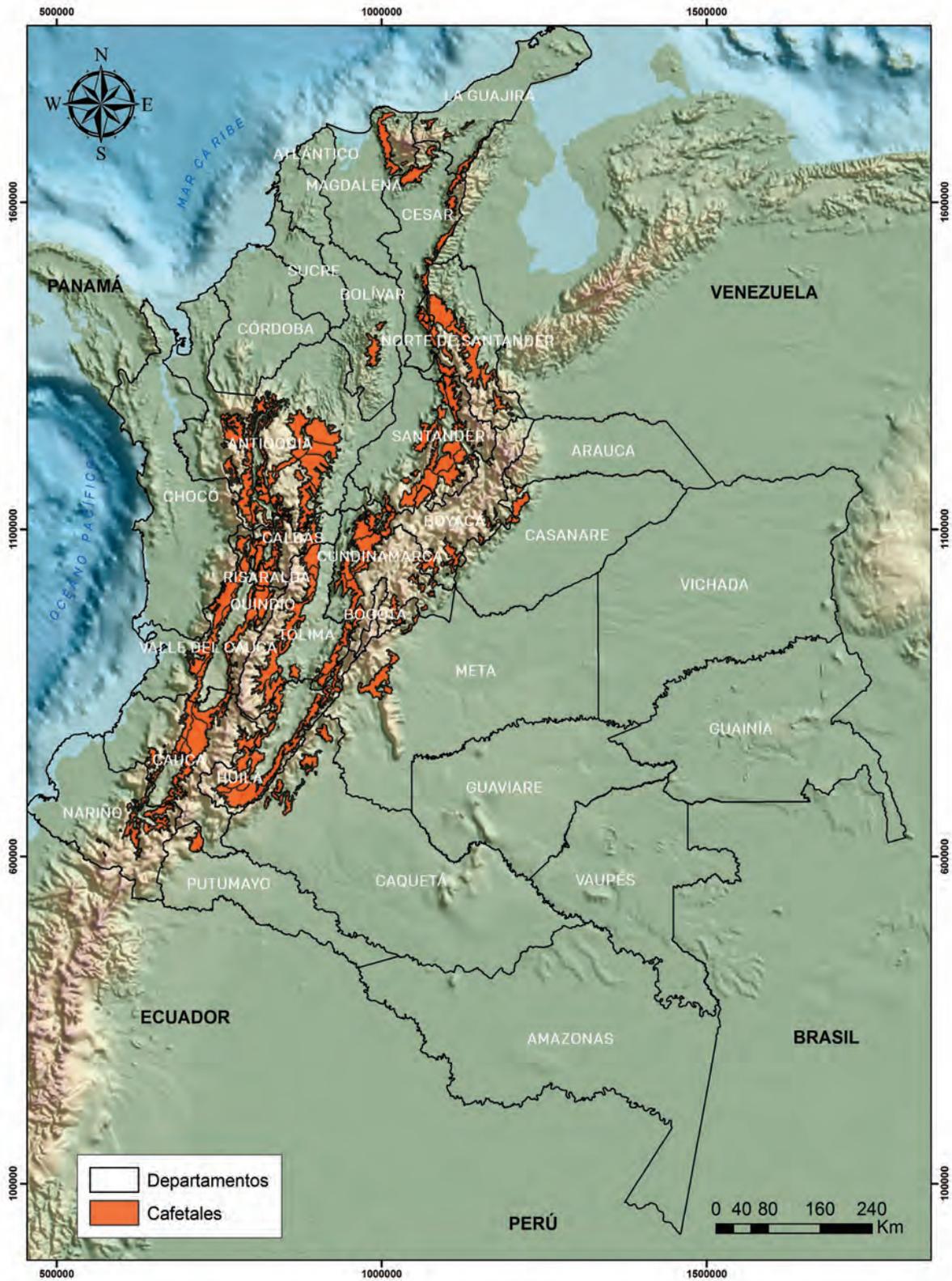
Vista panorámica del cerro Tusa, inspirador del logo de la Federación Nacional de Cafeteros. Venecia, Antioquia. Fotografía de la Federación Nacional de Cafeteros



CAPÍTULO 3

UN CAFÉ EN LAS MONTAÑAS

Catalina Sánchez Caballero
Juan Carlos Silva Tamayo
Karina Andrea Portilla Mendoza
Gloria Prieto Rincón
Servicio Geológico Colombiano



Mapa de zonas cafeteras de Colombia, adaptado por Catalina Sánchez Caballero.
Fuente: Cenicafé

En apartes del capítulo anterior se discutieron las generalidades de la geología colombiana y se describieron algunos procesos que contribuyeron, a lo largo de millones de años, a la formación del actual relieve de Colombia. Producto de esta dinámica surgieron importantes entidades fisiográficas que dividen el país básicamente en cuatro grandes unidades.

La primera corresponde a la zona oriental, con sus extensas llanuras, mientras que en el norte el paisaje está formado por amplias planicies que se tropiezan con el mar Caribe. En el centro y occidente del país encontramos todo el sistema andino, conformado por las más exuberantes montañas que componen las tres cordilleras de Colombia (cordilleras Oriental, Central y Occidental) y los más profundos valles que dividen estos poderosos macizos (p. ej., los de las cuencas de los ríos Magdalena y Cauca). Estas regiones presentan características geológicas contrastantes y, dado que en Colombia los cultivos de café están restringidos a las zonas montañosas, en este capítulo se presentan las principales características geológicas de las zonas montañosas cafeteras de Colombia que, de acuerdo con dichas entidades fisiográficas, corresponderían a nuestra región andina.

▲ LAS MONTAÑAS DE ORIENTE (NORTE DE SANTANDER, SANTANDER, BOYACÁ, CUNDINAMARCA, META, TOLIMA Y HUILA)

Las montañas del oriente corresponden a la cordillera Oriental, y están limitadas por las planicies de los ríos Amazonas y Orinoco, por el oriente, y el valle del río Magdalena por el occidente. Los cultivos de café de la zona oriental se encuentran localizados en los departamentos de Norte de Santander, Santander, Boyacá, Cundinamarca, Meta, Tolima y Huila. Estos cultivos se distribuyen en

las vertientes oriental y occidental de la cordillera Oriental, y ocupan pisos térmicos que van desde los 1200 hasta los 2000 m. s. n. m.

Las rocas

La geología de la cordillera Oriental está dominada principalmente por rocas sedimentarias que datan desde el periodo Jurásico (201 Ma) hasta el presente (véase, en el capítulo “Haciendo Colombia”). En algunas zonas de esta cordillera también se presentan, en menor proporción, rocas sedimentarias que fueron depositadas entre el inicio del periodo Devónico y el final del periodo Pérmico (419-252 Ma). Estas regiones también presentan algunas rocas (metamórficas) más antiguas, que datan desde la era Mesoproterozoica (entre 1600 y 1100 Ma).

Las zonas cafeteras de la parte más norte de la cordillera Oriental están ubicadas en el departamento de Norte de Santander. Allí, los cultivos cafeteros se encuentran distribuidos en dos zonas: la primera (norte, noroccidental y central del departamento) se encuentra sobre la vertiente occidental de la cordillera y comprende los municipios de Convención, Teorama, San Calixto, Hacarí, Ocaña, Lourdes y Sardinata. Se caracteriza por la presencia de rocas metamórficas de edad Neoproterozoico-Ordovícico, rocas ígneas de edad Jurásica y rocas sedimentarias marinas de edad Devónica, y continentales de edad Jurásica. En algunos sectores, pero en menor proporción, se encuentran rocas sedimentarias cretácicas marinas y cenozoicas continentales.

La segunda zona (suroriente del departamento) corresponde a la vertiente oriental de la cordillera y la región del Catatumbo. A esta zona pertenecen los municipios de Toledo, Labateca, Chinácota, Arboledas y Gramalote, entre otros. Los cultivos de café de esta zona se encuentran asociados a rocas sedimentarias marinas de edad Cretácica y sedimentarias continentales de edad Cenozoica. En menor proporción se encuentran zonas cafeteras asociadas a rocas sedimentarias de los periodos Devónico-Carbonífero y





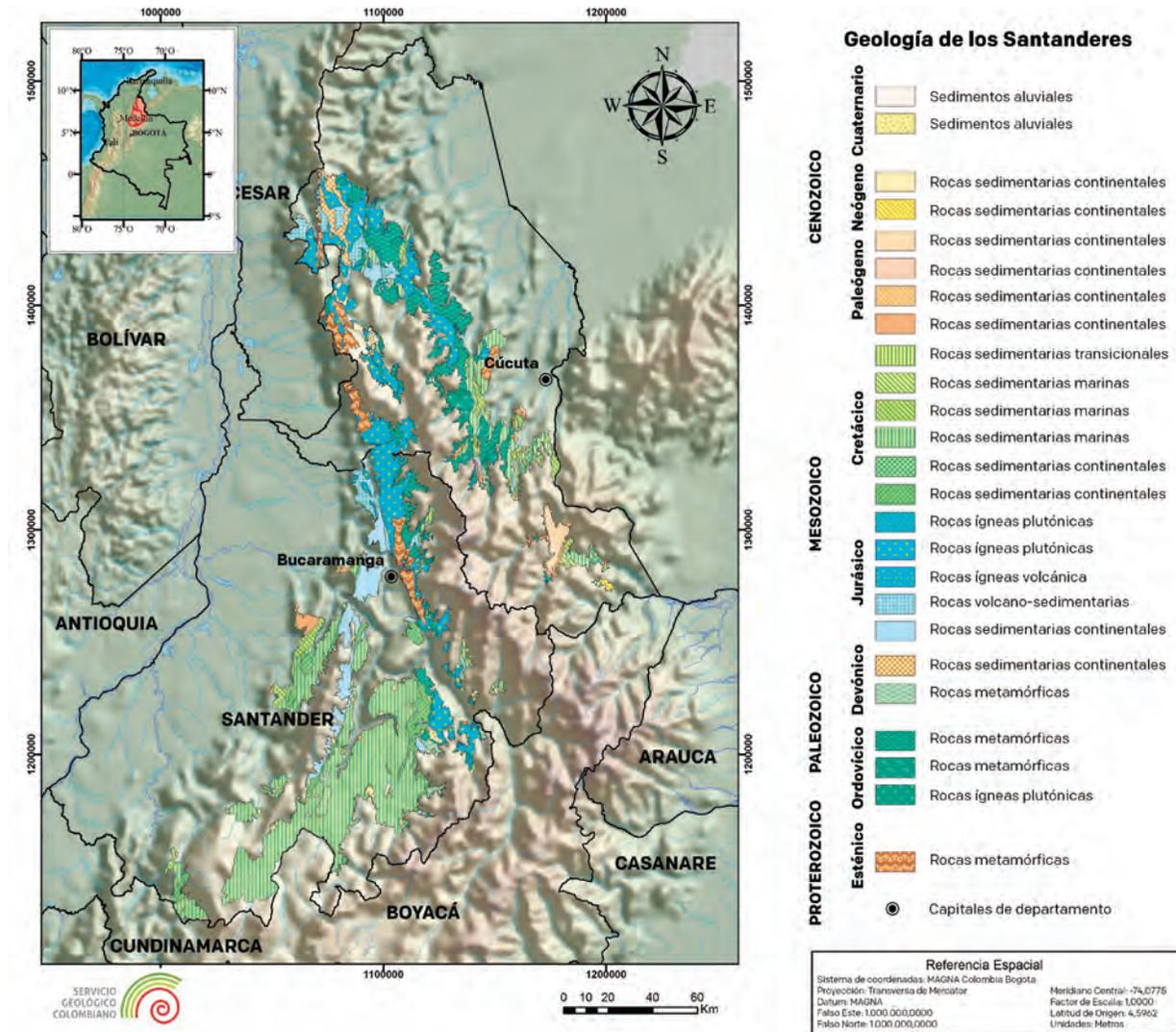
Jurásico. Las rocas sedimentarias del Devónico-Carbonífero tienen un gran interés geológico, y en especial paleontológico. Estas rocas registraron un aumento y posterior disminución del mar durante el intervalo 383-323 Ma a lo largo de la margen del supercontinente Gondwana.

El depósito de estas rocas sedimentarias comenzó aproximadamente 20 millones de años después de que los niveles de oxígeno en la atmósfera alcanzaran los niveles actuales y favorecieran la propagación de las plantas en los continentes. Estas rocas sedimentarias contienen los fósiles de peces marinos más antiguos de Colombia, así como las primeras plantas terrestres fósiles registradas en nuestro país.

Las rocas sedimentarias cretácicas de Norte de Santander, como todas las que se encuentran en la cordillera Oriental, son la evidencia geológica de la incursión del mar cretácico hacia el continente. Estas unidades geológicas están cubiertas por rocas de la edad Cenozoica, que registraron el subsecuente retroceso del mar.

Vista panorámica del salto del Tequendama donde se observa la caída de agua del Río Bogotá. En este punto se pueden ver rocas sedimentarias depositadas a lo largo de zonas costeras que existieron en el centro de Colombia durante el final del Mesozoico (Cretácico) y el inicio del Cenozoico (Paleoceno).

Fotografía de Alberto Ochoa Yarza, Servicio Geológico Colombiano, 2012

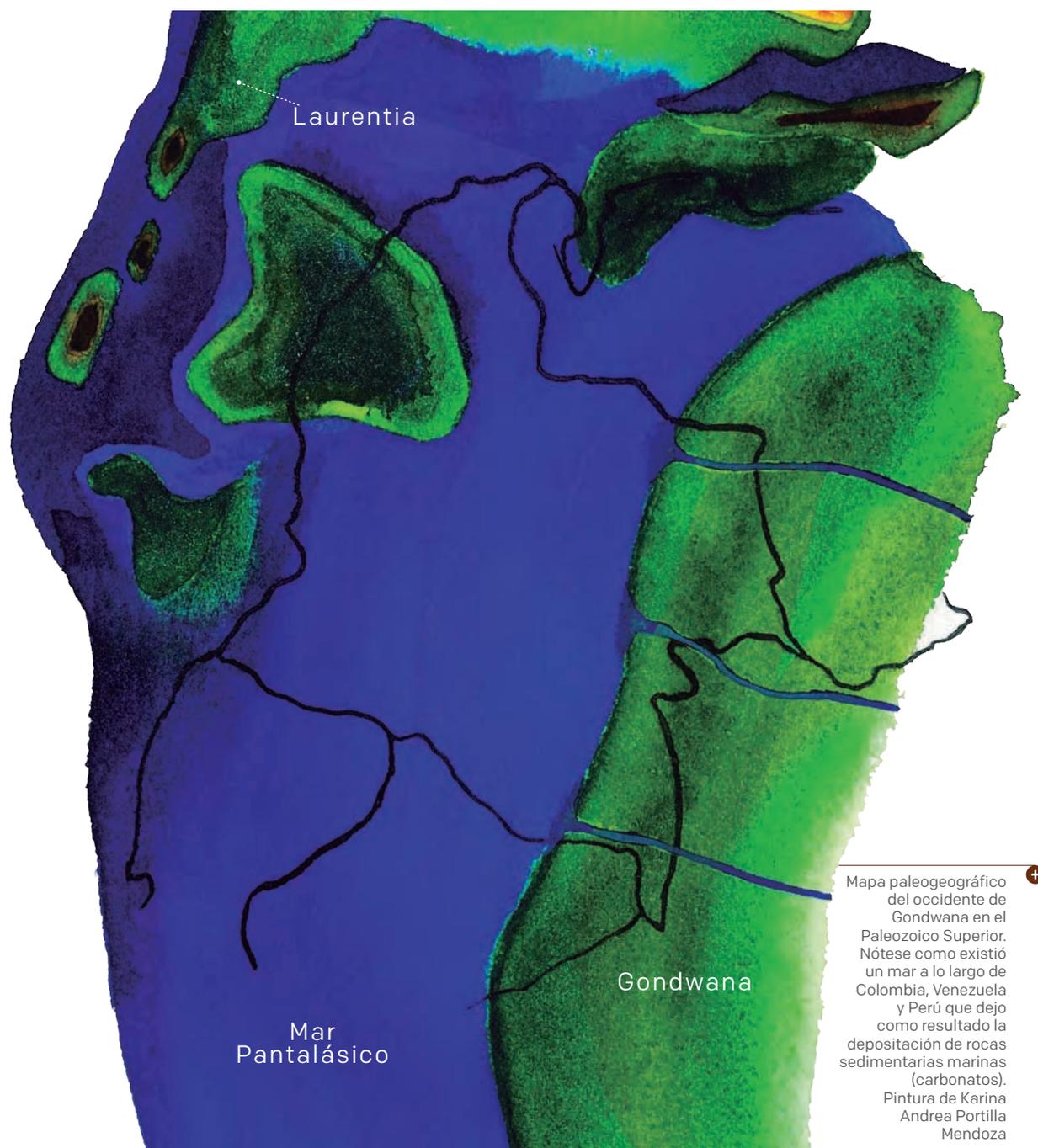


Geología de la región cafetera de los Santanderes. Adaptado por Catalina Sánchez Caballero del Mapa Geológico de Colombia 2015, escala 1:1000000, Servicio Geológico Colombiano

Mientras que las unidades cretácicas han sido siempre de gran interés para la explotación de hidrocarburos, las rocas cenozoicas han sido explotadas para la obtención de carbón. Estas últimas también tienen interés para la paleontología. Por ejemplo, el registro de plantas y polen fósiles presente en las rocas sedimentarias de la edad Paleoceno-Eoceno evidencia cambios ecológicos y ambientales asociados al mayor evento de calentamiento global registrado en los últimos 65 millones de años, el máximo termal del Paleoceno-Eoceno (PETM, por sus siglas en inglés). Este

evento es continuamente estudiado por la comunidad científica, pues de él se puede aprender sobre los posibles efectos de las emisiones rápidas de CO₂ antropogénico (generado por el hombre) en el clima futuro de la Tierra. Algunos estudios sugieren que el aumento de las temperaturas globales durante el PETM, de aproximadamente 6 °C, estuvo asociado a un aumento drástico y rápido del CO₂ volcánico en la atmósfera terrestre.

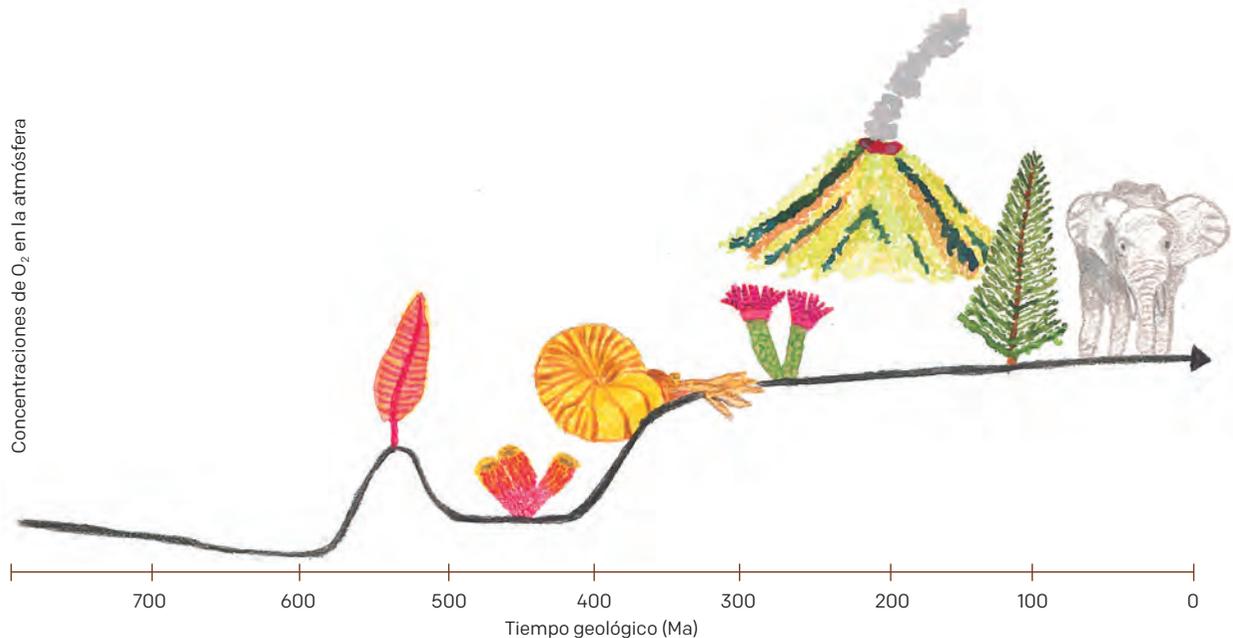
Las altas temperaturas ambientales generaron alta pluviosidad en el Neotrópico, que favoreció la aparición de grandes planicies, donde se



depositaron sedimentos ricos en materia orgánica y que ahora son mantos de carbón.

Este evento también está asociado a la explosión de la biodiversidad de plantas en el Neotrópico, que ocurrió de forma paralela a la aparición de grandes reptiles terrestres, como la *Titanoboa*

cerrejonensis y las tortugas gigantes. Fósiles de esos reptiles se han encontrado en la mina de carbón de El Cerrejón, en La Guajira colombiana, considerada la mina a cielo abierto más grande del mundo. Sin embargo, el PETM también estuvo asociado a un evento de acidificación



➤ Variación de los niveles atmosféricos desde el Neoproterozoico hasta el presente y su relación con la evolución animal. Nótese cómo a 600 Ma (Neoproterozoico) ocurrió un aumento en los niveles de oxígeno que llevó al desarrollo de la fauna Ediacárea, que son eucariotas evolucionadas marinas. A partir de los 400 Ma (Devónico) comenzaron a subir nuevamente los niveles de oxígeno, dando paso a la aparición de plantas y al aumento en la biodiversidad de la vida marina. Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza

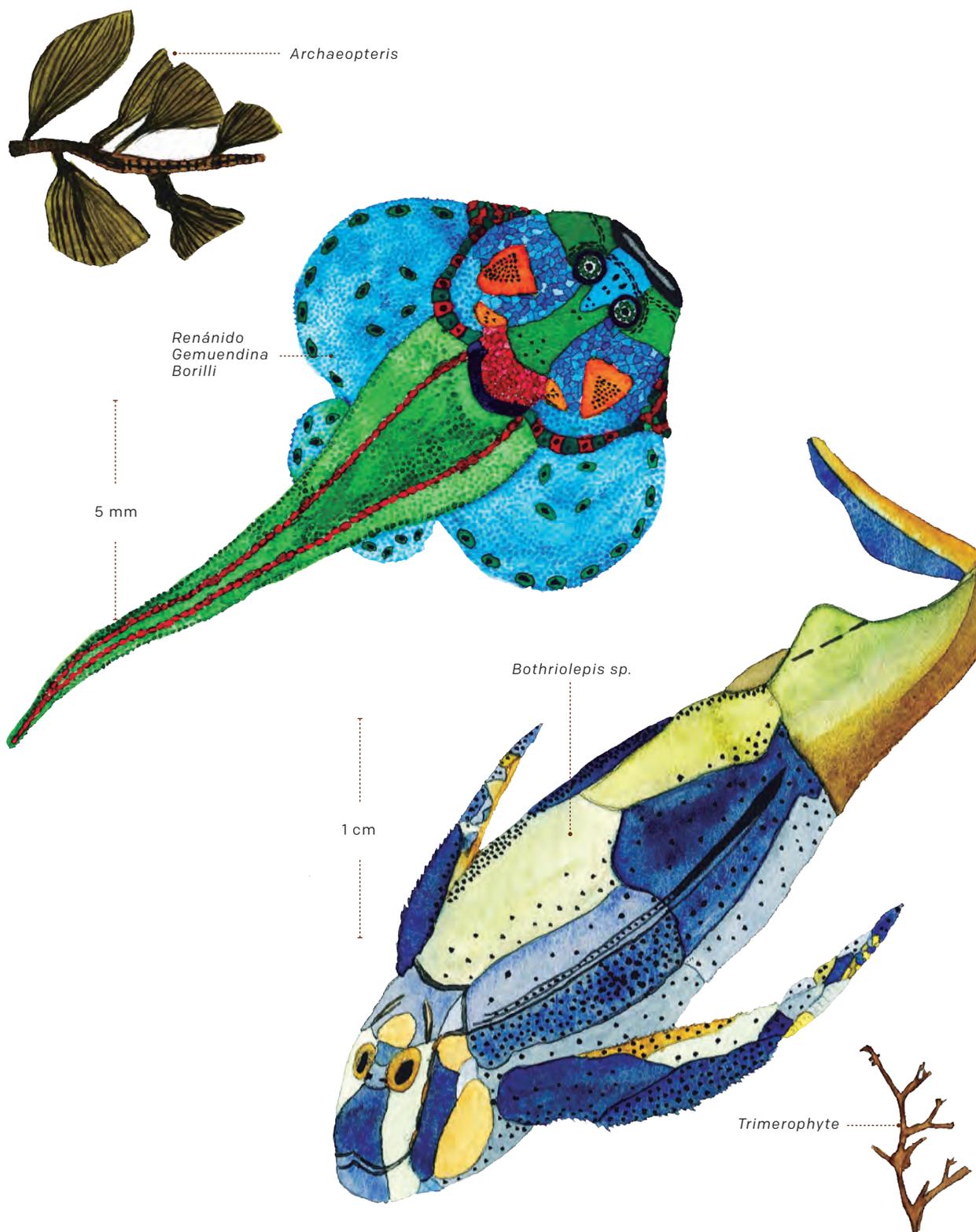
oceánica que afectó de forma drástica la biodiversidad marina.

Los cultivos de café del departamento de Santander se encuentran divididos en dos grandes zonas con características geológicas contrastantes. La gran mayoría se encuentran localizados en el flanco occidental de la cordillera. Algunos de los municipios que hacen parte de este primer grupo de zonas cafeteras son San Vicente de Chucurí, El Carmen de Chucurí, Barichara, Curití, San Gil, Zapatoca, Vélez, Barbosa y Puente Nacional, entre otros. En esta zona predominan rocas sedimentarias cretácicas (Valanginiano-Albiano) de origen marino. Estas formaciones fueron depositadas durante la incursión marina del Cretácico, a lo largo de una cuenca marina que iba desde lo que es hoy el departamento del Huila, en el sur, hasta el departamento del Cesar, en el norte.

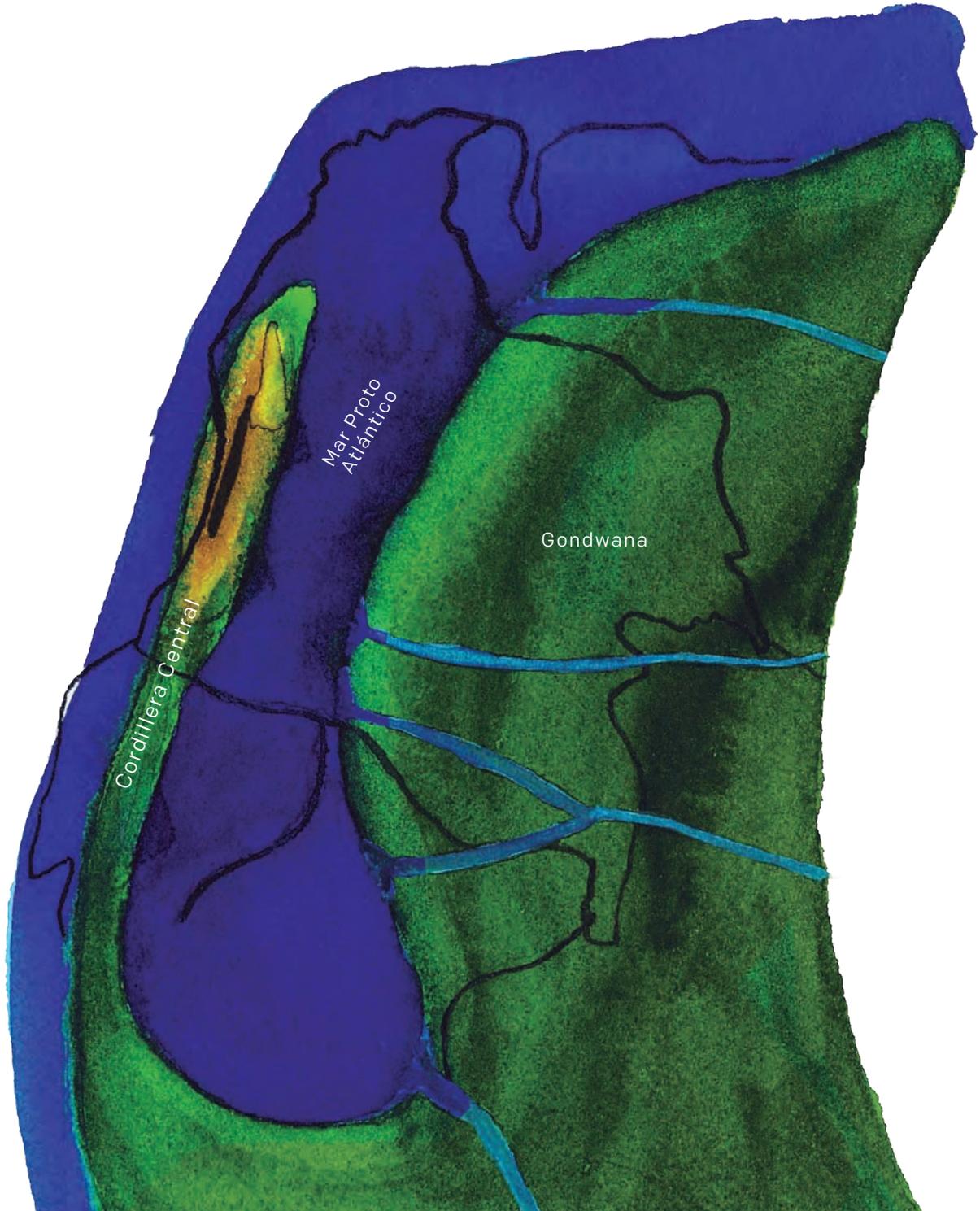
Estas rocas tienen gran potencial paleontológico, pues presentan los registros fósiles más

antiguos de tortugas en Colombia, que datan del inicio del periodo Cretácico. Este registro fósil puede ser visitado a lo largo de los cañones de los ríos Chicamocha y Sogamoso, áreas que no solo tienen una industria cafetera reconocida a nivel mundial, sino también servicios ecoturísticos y ecosistémicos que complementan el turismo cafetero. El registro sedimentario de Santander correspondiente al Cretácico también tiene interés económico, pues de él se extraen hidrocarburos y minerales no metálicos que se utilizan en diferentes industrias (agroquímica y cementera, entre otras).

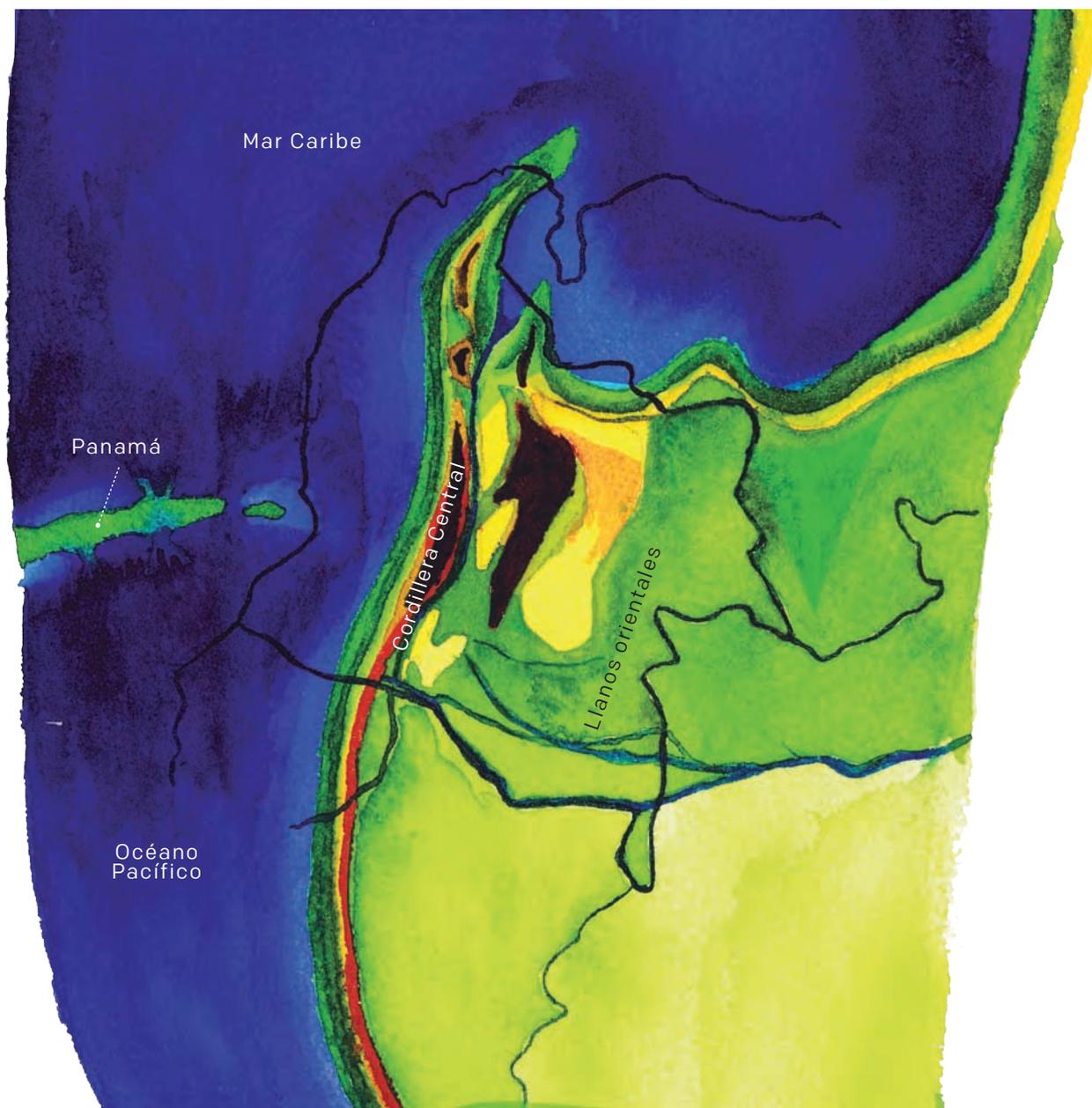
Otras zonas cafeteras de menor extensión se encuentran en la parte norte del departamento Santander. Allí los cultivos de café están asociados a rocas metamórficas de la era Paleozoica, así como a rocas sedimentarias e ígneas del periodo Jurásico. Lebrija, Bucaramanga, Rionegro y Girón son algunos de los municipios pertenecientes a esta zona.



+ Fósiles de peces marinos de la Formación Floresta y plantas de la Formación Cuche. Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza



+ Imagen paleogeográfica de la cuenca colombiana durante el Cretácico Temprano.
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza



+ Imagen paleogeográfica de la cuenca colombiana durante el Cenozoico, donde se registra el retroceso del mar.
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza

Continuando en dirección sur, a lo largo de la cordillera Oriental se encuentran los departamentos de Boyacá y Cundinamarca. Las zonas cafeteras más importantes de estos departamentos se encuentran en el flanco occidental de la cordillera. Estas zonas están principalmente localizadas en áreas donde predominan rocas sedimentarias de

origen marino de la edad Cretácica. Algunas zonas cafeteras del flanco occidental de la cordillera también se encuentran asociadas, en menor proporción, a rocas meso-cenozoicas sedimentarias de ambientes costeros y rocas continentales de edad Cenozoica.



✚ Un pingüino que habita hoy en la Antártica lee acerca de las condiciones ambientales en esa zona en el pasado geológico.
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza

Estas rocas tienen gran importancia para la generación de recursos energéticos. Mientras las rocas cretácicas están asociadas generalmente a fuentes de hidrocarburos, las rocas cenozoicas son asociadas a reservorios de hidrocarburo y carbón. Las rocas cretácicas marinas y costeras, especialmente las del departamento de Boyacá, son de gran potencial paleontológico. Estas unidades, que se extienden a lo largo del centro y occidente del departamento, preservan fósiles de dinosaurios de diferentes especies, así como fósiles de tortugas y peces, y huellas de dinosaurio.

Las zonas cafeteras del flanco oriental de la cordillera Oriental, de los departamentos de

Boyacá y Cundinamarca, están también asociadas a rocas sedimentarias marinas y costeras del Cretácico y a rocas sedimentarias del periodo Devónico-Carbonífero. Municipios como Choachí, Ubaque, Quetame, Ubalá, Gachetá, Machetá, Somondoco, Miraflores, Macanal, entre otros, hacen parte de la zona cafetera de estos departamentos. Aunque las unidades cretácicas del flanco occidental de la cordillera Oriental son la principal fuente de las esmeraldas colombianas, en esta región también existen importantes yacimientos de este precioso mineral.

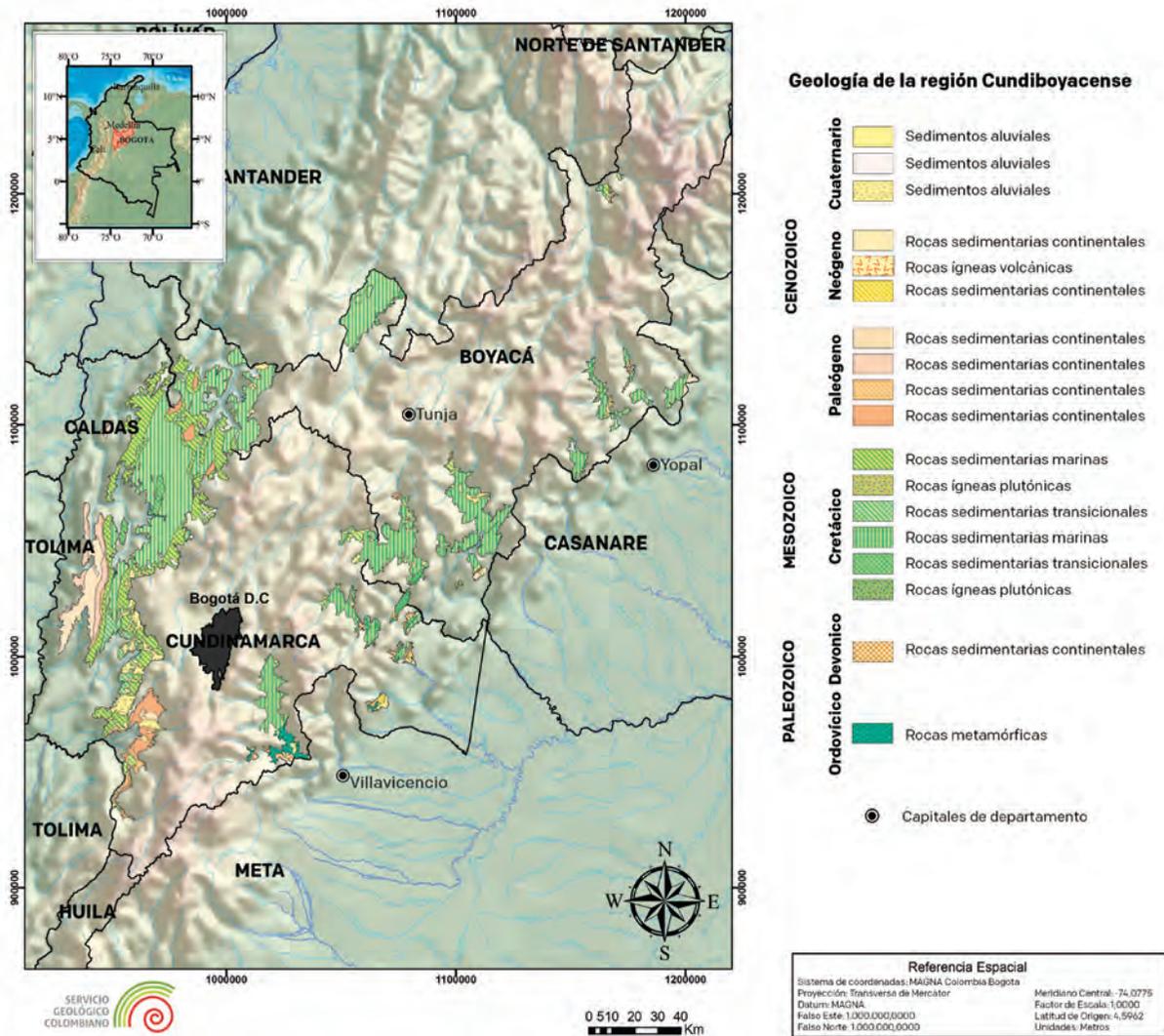
- + Imagen de la tortuga gigante del Cretácico (formación Rosablanca).
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza



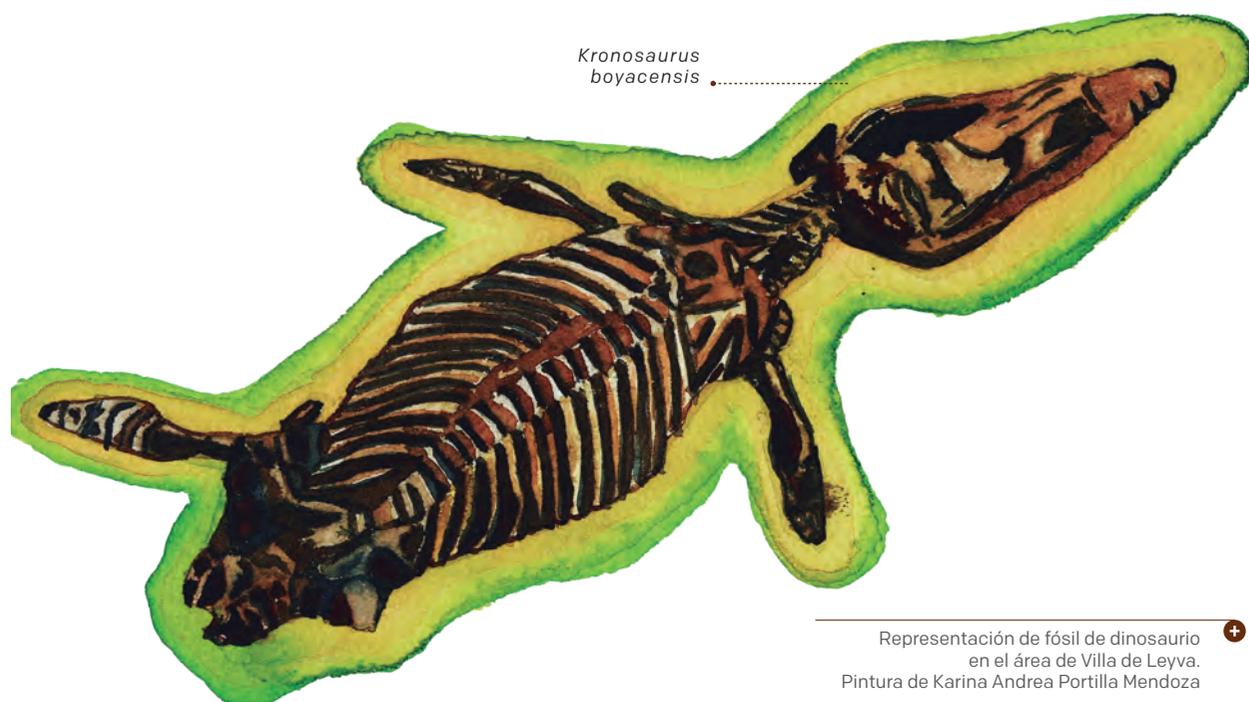
2m



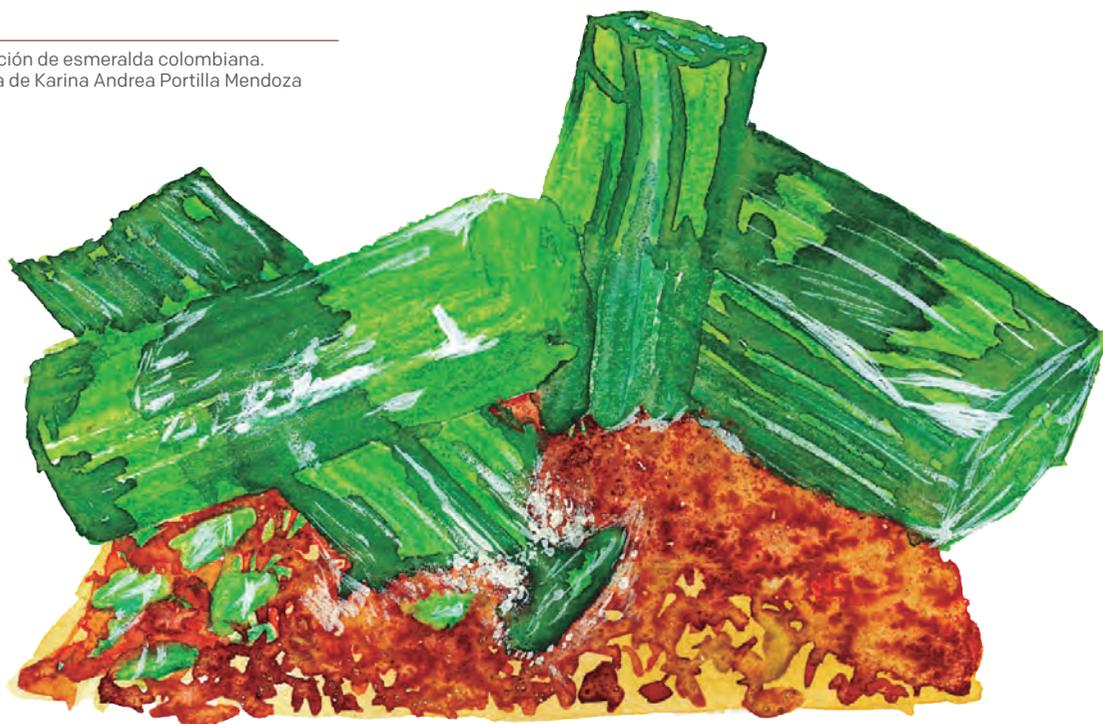
Cerrejonemys wayuunaiki

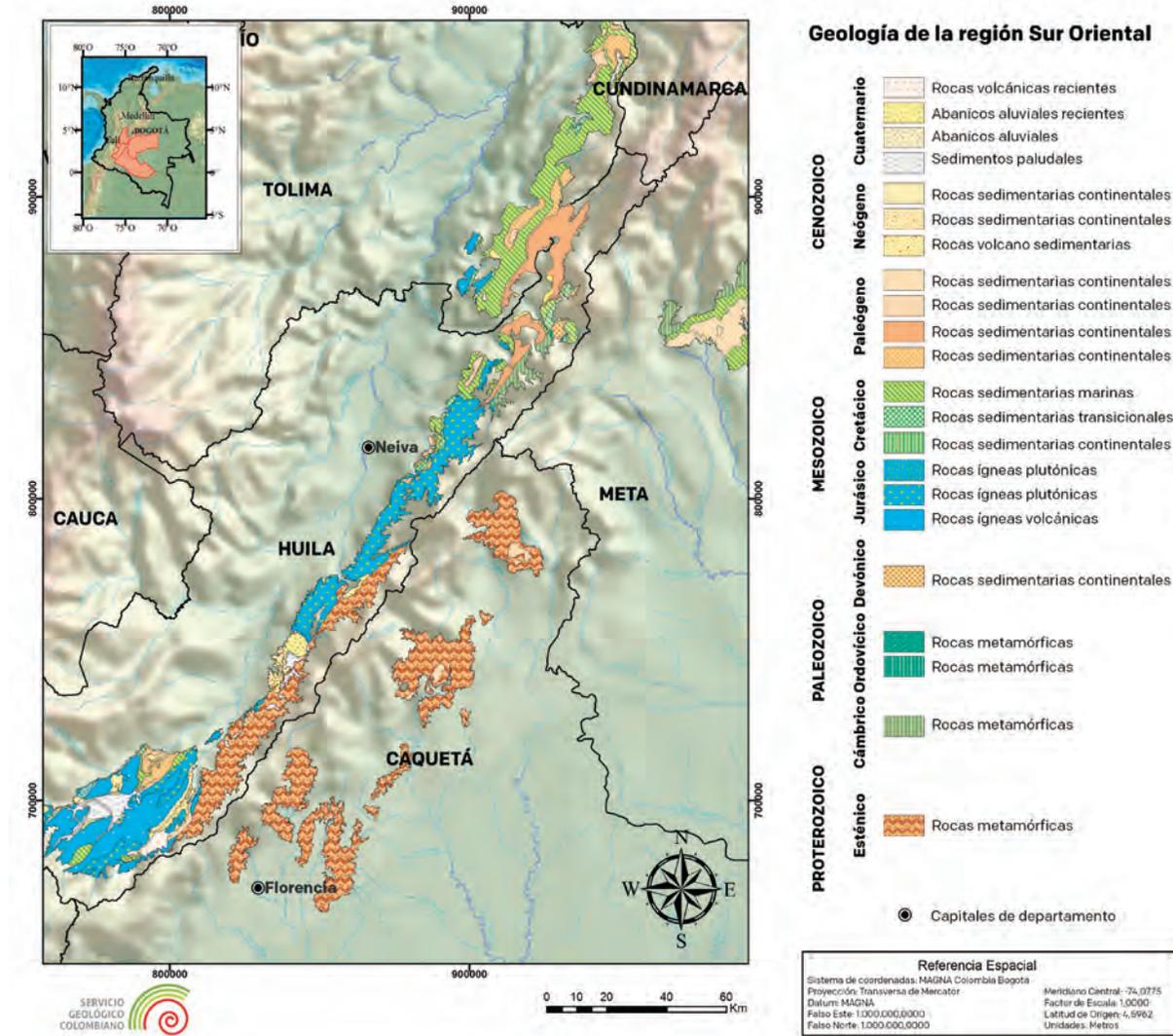


Geología de la región cafetera Cudiboyacense. Adaptado por Catalina Sánchez Caballero del Mapa Geológico de Colombia 2015, escala 1:1000000, Servicio Geológico Colombiano



+ Ilustración de esmeralda colombiana.
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza





Geología de la región cafetera Sur Oriental. Adaptado por Catalina Sánchez Caballero del Mapa Geológico de Colombia 2015, escala 1:1000000, Servicio Geológico Colombiano

Algunas zonas cafeteras del flanco occidental de la cordillera Oriental se encuentran en el departamento del Tolima. Estas zonas presentan una geología muy similar a la del departamento de Cundinamarca, donde predominan rocas sedimentarias cretácicas marinas y cenozoicas continentales. Villarrica y Alpujarra son algunos de los municipios del departamento del Tolima que presentan cultivos de café en las montañas del oriente. Al visitar esta zona cafetera se pueden acceder a importantes atractivos ecoturísticos, como los ofrecidos por el desierto de la Tatacoa,

donde expertos y aficionados tienen las condiciones ideales para realizar observaciones astronómicas. En este desierto también se encuentran los fósiles de los primates más antiguos del norte de Suramérica que datan del Mioceno.

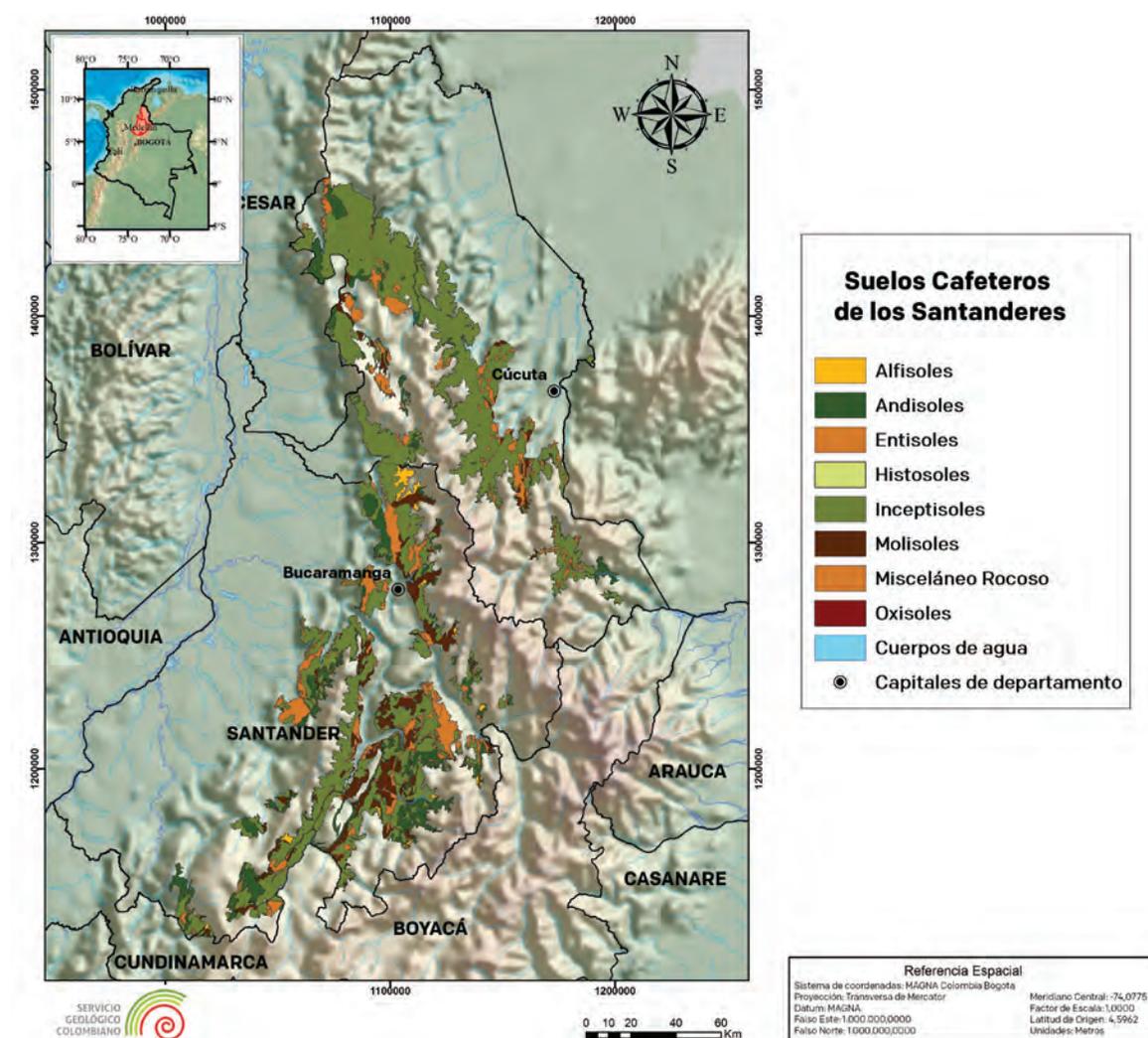
Los cultivos de café del departamento del Huila pertenecientes a las montañas del oriente están distribuidos a lo largo de la vertiente occidental de la cordillera Oriental. Las zonas cafeteras de esta vertiente están restringidas a áreas donde existen rocas ígneas volcánicas y plutónicas de la edad Jurásica y rocas metamórficas proterozoicas del ma-

cizo de Garzón. Los municipios que conforman esta zona cafetera son Garzón, Gigante, Algeciras, Campo Alegre y Rivera. Las unidades ígneas de la edad Jurásica tienen gran potencial en términos de depósitos metalogénicos. Las unidades cretácicas han despertado en los últimos diez años un gran interés en la exploración y explotación de hidrocarburos no convencionales. El flanco oriental de la cordillera Oriental también abarca áreas de los departamentos del Meta y Caquetá. En el departamento del Meta las rocas predominantes son marinas (cretácicas) y continentales (cenozoicas), mientras que en el departamento de Caquetá son predominantemente metamórficas (precámbricas).

Los suelos cafeteros

La historia de la génesis de los suelos colombianos, al igual que la geológica, es compleja. Cada territorio está enmarcado en unas condiciones fisiográficas determinadas, y la variabilidad de los suelos depende de la interacción de los cinco factores formadores del suelo vistos (clima, material parental, relieve, organismos y tiempo).

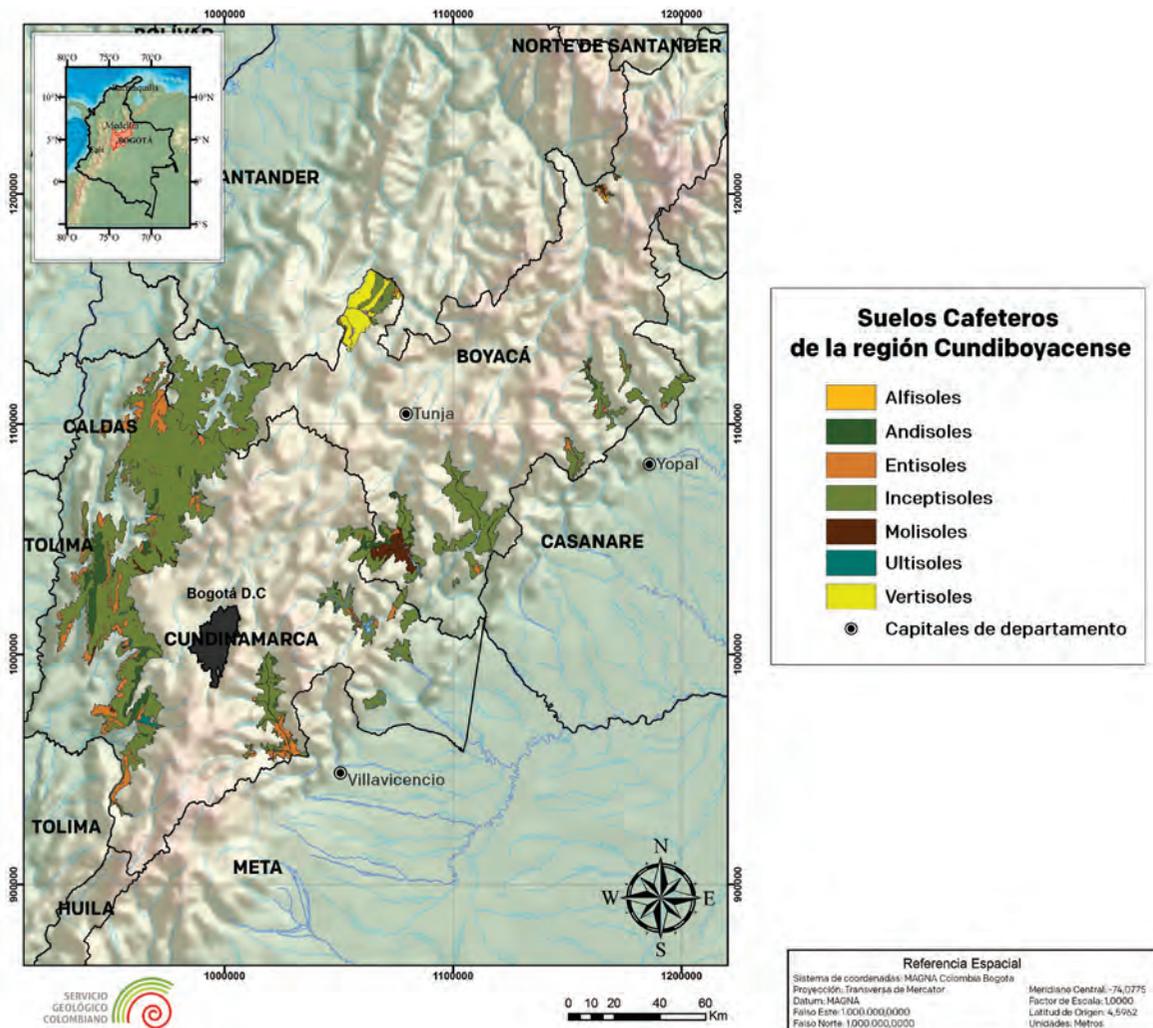
En este contexto, los suelos cafeteros de las montañas del oriente comparten algunas similitudes con los suelos cafeteros de los otros macizos rocosos (picos centrales, altas cumbres del Caribe y Aromas del Sur) en cuanto a las condiciones fisiográficas que dominan el territorio.



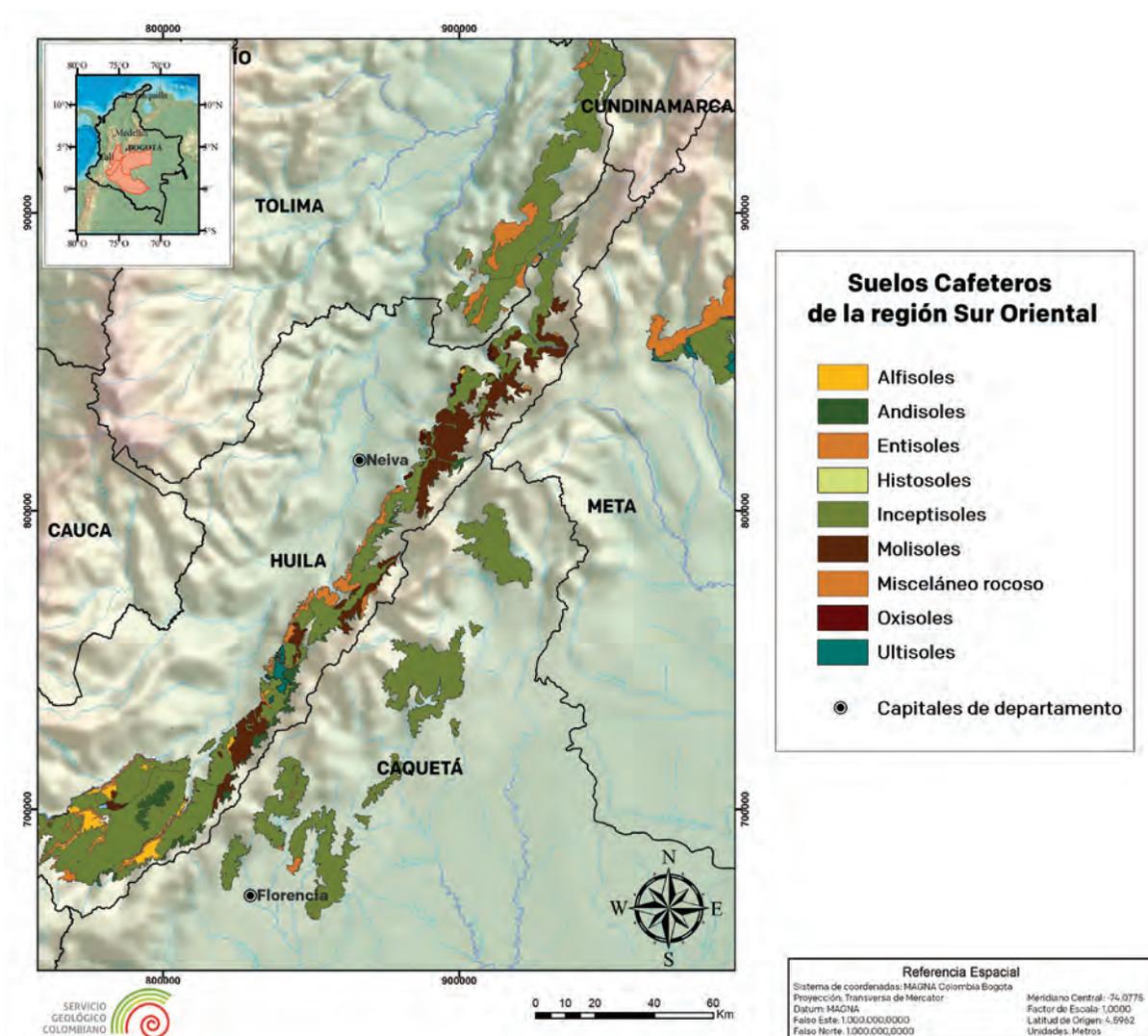
Tipos de suelos presentes en la región cafetera de los Santanderes. Adaptado por Catalina Sánchez Caballero del Mapa de Órdenes de Suelos 2012, escala 1:100000, IGAC

La cordillera de los Andes es una gran cadena montañosa que atraviesa el continente suramericano de sur a norte. En su parte más septentrional (Colombia) se divide en tres ramales con historia reciente en tiempo geológico. Desde sus inicios, la parte norte de la cordillera de los Andes ha estado enmarcada por una región geológicamente activa, con numerosos procesos tectónicos (levantamientos orogénicos) y climáticos (última era Glacial), de los cuales ha heredado las formas del relieve. Es por esto que en nuestras cordilleras imperan extensas laderas de fuertes pendientes y cimas predominantemente agudas, caracte-

rísticas de un ambiente netamente erosivo. Esta condición limita el desarrollo del suelo, pues los procesos que esculpen el paisaje son tan diversos y dinámicos (erosión, transporte, sedimentación) que no permiten que la formación de suelos sea eficiente. De esta manera, muchos de los suelos en nuestro sistema montañoso presentan un desarrollo evolutivo incipiente y son poco profundos. Además, en esta región prevalece un clima entre húmedo y húmedo seco, con abundante infiltración en el interior del suelo, que permite la salida de cationes básicos y, como consecuencia, predominan suelos pobres con tendencia ácida.



Tipos de suelos desarrollados en la región Cundiboyacense. Adaptado por Catalina Sánchez Caballero del Mapa de Órdenes de Suelos 2012, escala 1:100000, IGAC



Tipos de suelos desarrollados en la región Sur Oriental.
 Adaptado por Catalina Sánchez Caballero del Mapa de Órdenes de Suelos 2012,
 escala 1:100000, IGAC

Por lo anterior, la descripción de los suelos presentes en las zonas cafeteras de las montañas del oriente se abordará siguiendo la secuencia geológica descrita. Así, los suelos más septentrionales de la cordillera Oriental (Norte de Santander y Santander) se encuentran desarrollados sobre un complejo de rocas cuyo núcleo está constituido por rocas metamórficas muy antiguas (Neoproterozoico-Ordovícico) y sedimentarias (Devónico) que han sido intruidas por varios cuerpos ígneos de la edad Jurásica.

En la parte central de la cordillera (Boyacá y Cundinamarca), el material parental de los suelos está conformado casi en su totalidad por rocas sedimentarias marinas (del Cretácico) y continentales (del Cenozoico). Hacia el sur, donde la cordillera es angosta, se destacan las rocas volcánicas jurásicas y metamórficas muy antiguas (Proterozoico).

Inceptisoles

En extensión, los inceptisoles corresponden al orden que tiene mayor presencia en toda la región de las montañas del oriente, y prácticamente en toda Colombia. Estos suelos se pueden encontrar desde los 300 m. s. n. m. hasta alturas cercanas a los 2200 m. s. n. m. En la parte más septentrional de la cordillera Oriental estos suelos se encuentran en ambos flancos, mientras que en el sur se encuentran restringidos al flanco occidental de la misma, donde configuran una franja estrecha, alargada y continua desde Cundinamarca hasta el Huila.

Estos suelos son poco evolucionados y se caracterizan por tender a la erosión debido a las fuertes pendientes. Además, poseen escasa materia orgánica, baja saturación de bases (Ca, Mg y K), condiciones ácidas y baja fertilidad natural. El desarrollo de los perfiles de estos suelos puede variar en función de la variable climática.

Así, cuando se encuentran en climas donde la precipitación es alta, el agua puede entrar en la estructura del suelo, interactuar con los minerales que lo constituyen y descomponerlos. Posteriormente, los iones que quedan disueltos (en solución) van migrando progresivamente hacia un horizonte más subsuperficial, hasta que, con el tiempo, se produce un horizonte con una considerable acumulación de arcillas y óxidos. El resultado de estos procesos es un perfil característico A/B/C.

Por el contrario, en climas más secos, el desarrollo es más incipiente, o simplemente se requiere de muchísimo más tiempo para alcanzar algún grado de evolución mayor, por lo cual es típico encontrar perfiles A/C.

Entisoles

Estos suelos minerales se encuentran en pequeñas extensiones, dispersos por toda la región de las montañas del oriente, y ocupan un rango altitudinal que varía entre los 500 y los 2200 m. s. n. m. Por ello presentan varias condiciones geomorfológicas y climáticas y comparten carac-



+ Inceptisol desarrollado a partir de rocas sedimentarias (lutitas) presentes en algunos municipios de los departamentos de Santander y Boyacá. Nótese el perfil desarrollado A/B/C, pero en zonas de pendientes más pronunciadas se encuentra un perfil típico A/C. Fotografía de Hernán González Osorio de Cenicafé

terísticas similares a las de los inceptisoles. Los entisoles son suelos muy jóvenes, es decir que su historia pedogenética es corta y, en consecuencia, presentan un perfil incipiente, representado por la presencia de los horizontes A/C o A/R.

Alfisoles

La extensión de este grupo de suelos en las montañas del oriente es mínima, y se encuentran distribuidos geográficamente en la vertiente suroccidental de la cordillera Oriental, principalmente en el departamento del Huila. Estos suelos se desarrollan a partir de los 1300 m. s. n. m. Por lo general, los alfisoles se encuentran en regiones de climas secos y su principal característica es la alta concentración de arcillas en el horizonte B.

Andisoles

Estos suelos se encuentran configurando parches dispuestos a lo largo de toda la cordillera Oriental, en regiones con influencia directa (caída) o indirecta (materiales transportados) de ceniza volcánica. Es por esto que los andisoles aparecen ocupando cualquier parte del relieve y en variadas zonas climáticas. Estos suelos se forman a partir de la interacción de las cenizas volcánicas (materiales amorfos) con la materia orgánica (humus). Se caracterizan por ser suelos de color oscuro, con muy buena estabilidad estructural, de espesores considerables, altos contenidos de materia orgánica, de mediana a baja fertilidad y de tendencia ácida.

Molisoles

Los molisoles de la cordillera Oriental se encuentran en un rango de alturas que varían entre los 1200 y los 2000 m. s. n. m. En el norte se distribuyen hacia las partes medias y bajas de ambos flancos de la cordillera, a modo de parches, mientras que, en el sur, en el departamento del Huila, su desarrollo se encuentra limitado a la vertiente occidental de dicha cordillera, donde delimitan

una estrecha faja de dirección N-S. Estos suelos se encuentran modelados en todo tipo de rocas y en varios rangos de humedad. Son por lo regular suelos ricos en materia orgánica, poco profundos y de buena fertilidad.

Vertisoles

Las zonas cafeteras que presentan desarrollo de vertisoles se encuentran localizadas a lo largo del flanco occidental de la cordillera Oriental y configuran una franja alargada que atraviesa los departamentos de Santander (Socorro, Palmas del Socorro, Confines, Guapotá, Guadalupe y Suaita) y Boyacá (Santana, San José de Pare, Chitaraque, Togüí, Moniquirá y Gachantivá). Presentan horizontes medianamente profundos de coloraciones oscuras en superficie, y en términos generales son de baja fertilidad. La formación de grietas en superficie y estructuras en cuña constituyen la mayor particularidad de estos vertisoles. Estas características se deben al tipo de material parental, que en este caso son materiales finos que derivan en arcillas, y al régimen de temperatura presente en la región (isohipertérmico, es decir, temperatura media anual de 22 °C).

▲ LOS PICOS CENTRALES (ANTIOQUIA, QUINDÍO, RISARALDA, CALDAS, TOLIMA Y VALLE DEL CAUCA)

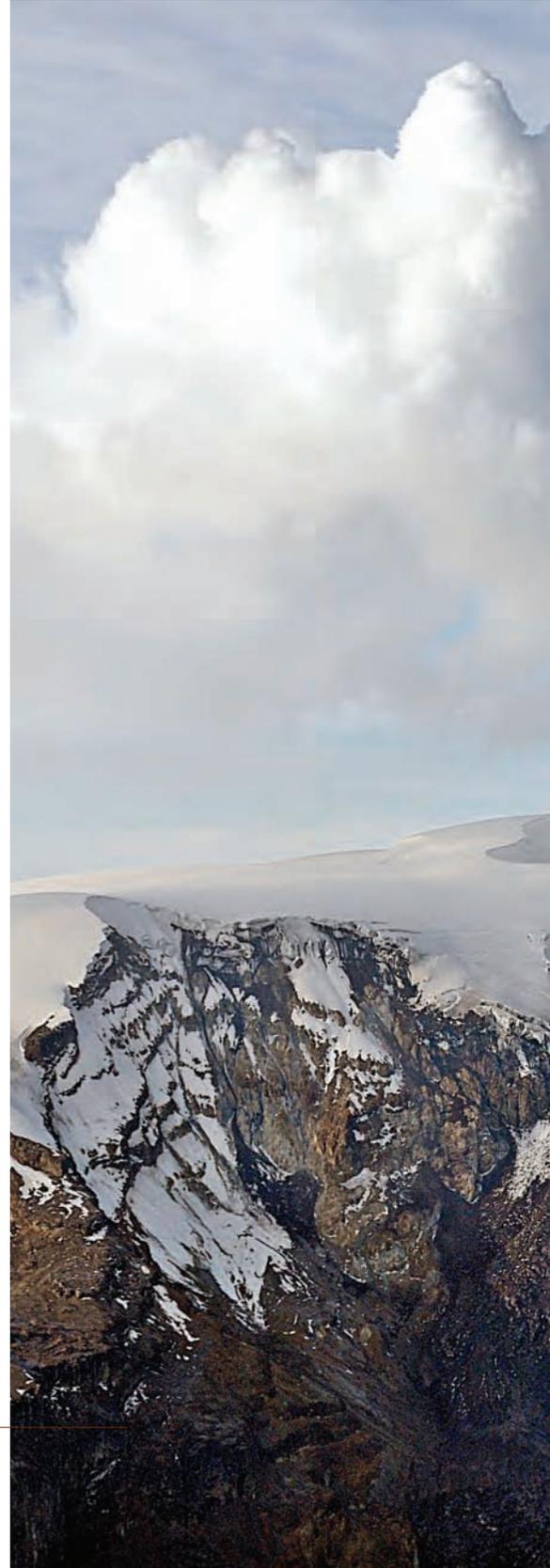
En la zona centro-occidental andina de Colombia los cultivos de café se encuentran localizados en los departamentos de Antioquia, Quindío, Risaralda, Caldas, Tolima y Valle del Cauca. Fisiográficamente, las zonas cafeteras de estos departamentos se encuentran distribuidas a lo largo de las vertientes oriental y occidental de la cordillera Central y de la vertiente oriental de la Occidental, desde los 1300 hasta los 1900 m. s. n. m.

Las rocas

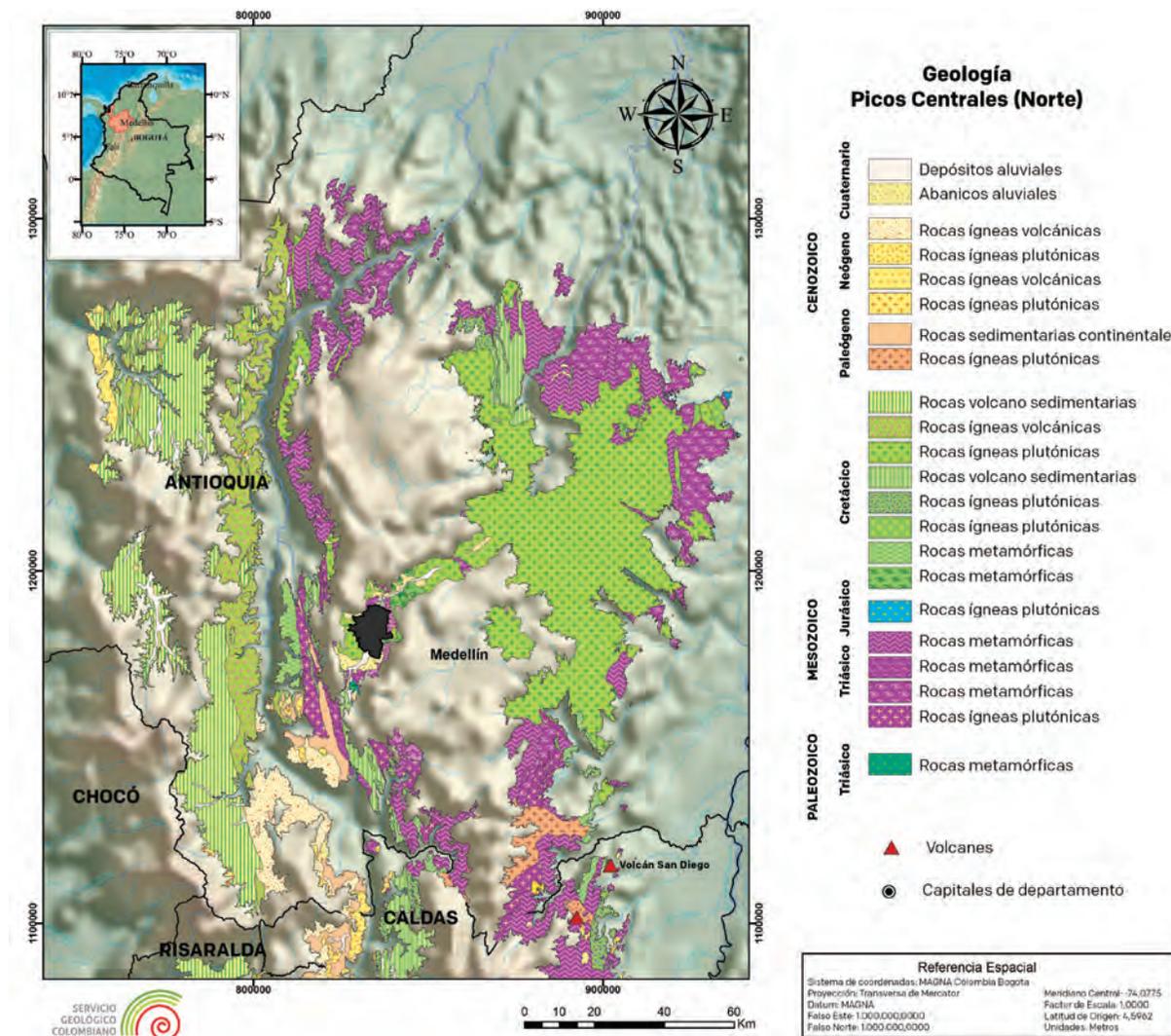
Las zonas cafeteras más importantes del departamento de Antioquia se encuentran a lo largo de las vertientes occidental de la cordillera Central y oriental de la cordillera Occidental. La geología de estas dos zonas montañosas es muy contrastante. Mientras la cordillera Central se caracteriza por presentar una gran diversidad de unidades geológicas (ígneas volcánicas, ígneas intrusivas, metamórficas, sedimentarias continentales, sedimentarias marinas) que datan desde el Carbonífero, hasta el presente, la cordillera Occidental presenta moderada diversidad geológica (ígneas, sedimentarias marinas, sedimentarias continentales) que datan desde el Cretácico hasta el presente.

Amagá, Venecia, Heliconia, Fredonia y Pintada son algunos de los municipios con zonas cafeteras localizados en la vertiente occidental de la cordillera Central, en el departamento de Antioquia. Los cultivos de café en estos municipios están asociados principalmente a áreas donde predominan rocas sedimentarias continentales de edad Oligoceno-Mioceno y rocas de origen volcánico del Mioceno, que intruyen y/o se depositan encima de las continentales. Estas dos unidades geológicas se vinculan a servicios mineros, ecosistémicos y ecoturísticos de gran importancia para la región antioqueña, que complementan las actividades cafeteras.

➤ Vista panorámica del cráter Arenas (volcán Nevado del Ruiz) en actividad (junio de 2012). Este volcán hace parte del complejo volcánico Ruiz – Tolima de la cordillera Central colombiana.
Fotografía de Beatriz Galvis Arenas, Servicio Geológico Colombiano, 2012







Geología de la región cafetera de los Picos Centrales (Norte). Adaptado por Catalina Sánchez Caballero de Mapa Geológico de Colombia 2015, escala 1:1000000, Servicio Geológico Colombiano

Las rocas continentales oligo-miocenas son reconocidas en todo el país por la presencia de mantos de carbón que han sido económicamente explotados desde inicios del siglo XX. Estas rocas también son importantes desde el punto de vista geocientífico, ya que en ellas se encuentran evidencias de la unión de Centro y Suramérica. Este evento, que ocurrió en el límite Oligoceno-Mioceno (23 Ma), fue de trascendental importancia para la evolución del clima y la biodiversidad global. Esta unión, que interrumpió parcialmente la comunicación entre los océanos Pacífico y Atlántico,

aceleró el crecimiento de las calotas polares en el Ártico y permitió el intercambio de animales entre Norteamérica y Suramérica.

Las rocas volcánicas miocenas son, en cambio, reconocidas por presentar una de las primeras evidencias de volcanismo efusivo/explosivo en los Andes septentrionales de Colombia. Hoy en día estas rocas y sus cuerpos volcánicos intrusivos asociados son admirados por sus geformas sobresalientes, en las que actividades como la preservación ecológica, el geoturismo y los deportes extremos son practicadas.



+ Cerro Tusa.
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza



+ Representación de las minas del sector de Amagá (Antioquia).
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza

Las zonas cafeteras de los municipios de Angelópolis, Armenia Mantequilla, Santa Bárbara, Montebello, Abejorral, Ebéjico y Sopetrán, así como aquellas pertenecientes a los municipios del valle de Aburrá (Medellín, Envigado, Sabaneta, Caldas, Itagüí y La Estrella) están localizadas en áreas donde predominan rocas ígneas y metamórficas de edad Triásica, y rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias de edad Cretácica.

Probablemente, la zona de mayor interés socioeconómico es la del valle de Aburrá, donde se encuentra Medellín (la Ciudad de la Eterna Primavera), la segunda ciudad de mayor importancia de Colombia. Los cultivos cafeteros del valle de Aburrá se encuentran generalmente sobre depósitos de vertiente (depósitos resultados de erosión) entre los 1600 y los 1800 m. s. n. m. Estas vertientes, que tienen una pendiente media del 15%, comenzaron su desarrollo hace 3.5 Ma, cuando se inició la apertura del valle. Algunos cultivos también se encuentran asociados a rocas metamórficas de edad Triásica y rocas ígneas de edad Cretácica.

Los cultivos de café de la vertiente oriental de la cordillera Occidental se encuentran en tres zonas geológicamente diferentes. La primera zona comprende los municipios de Jardín, Andes, Tarsó, Jericó y Pueblo Rico. Esta zona comprende principalmente rocas volcánicas y volcano-sedimentarias de edad Mioceno que comparten servicios turísticos, agronómicos y ecosistémicos con las zonas cafeteras de la vertiente occidental de la cordillera Central. La segunda zona comprende los municipios de Santa Fe de Antioquia, Buritica, Anzá y Concordia. Estas zonas cafeteras se encuentran en áreas donde predominan rocas ígneas plutónicas y volcánicas de edad Cretácica. Estudios geológicos indican que estas rocas se originaron lejos de la parte continental de Colombia, como islas volcánicas, y después fueron conducidas hasta su posición actual por la tectónica de placas. La tercera zona comprende los municipios de Salgar, Ciudad Bolívar, Betania, Betulia, Hispania, Caicedo, Cañasgordas, Frontino y Urrao. En esta zona los cultivos de café

+ Dibujo que muestra cómo el choque entre Panamá y Suramérica permitió el intercambio biológico en el Mioceno.
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza





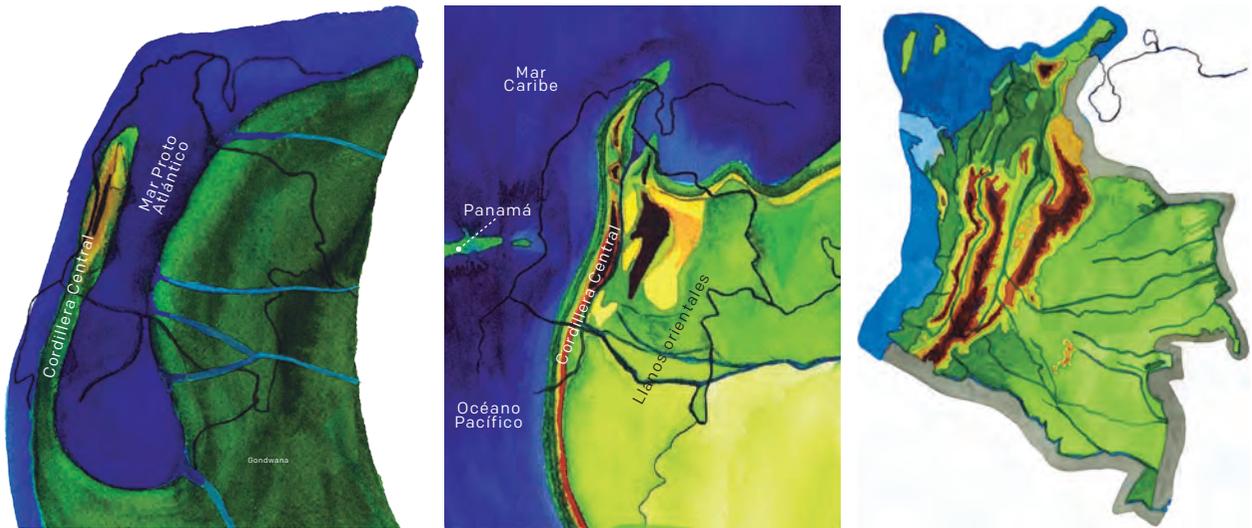




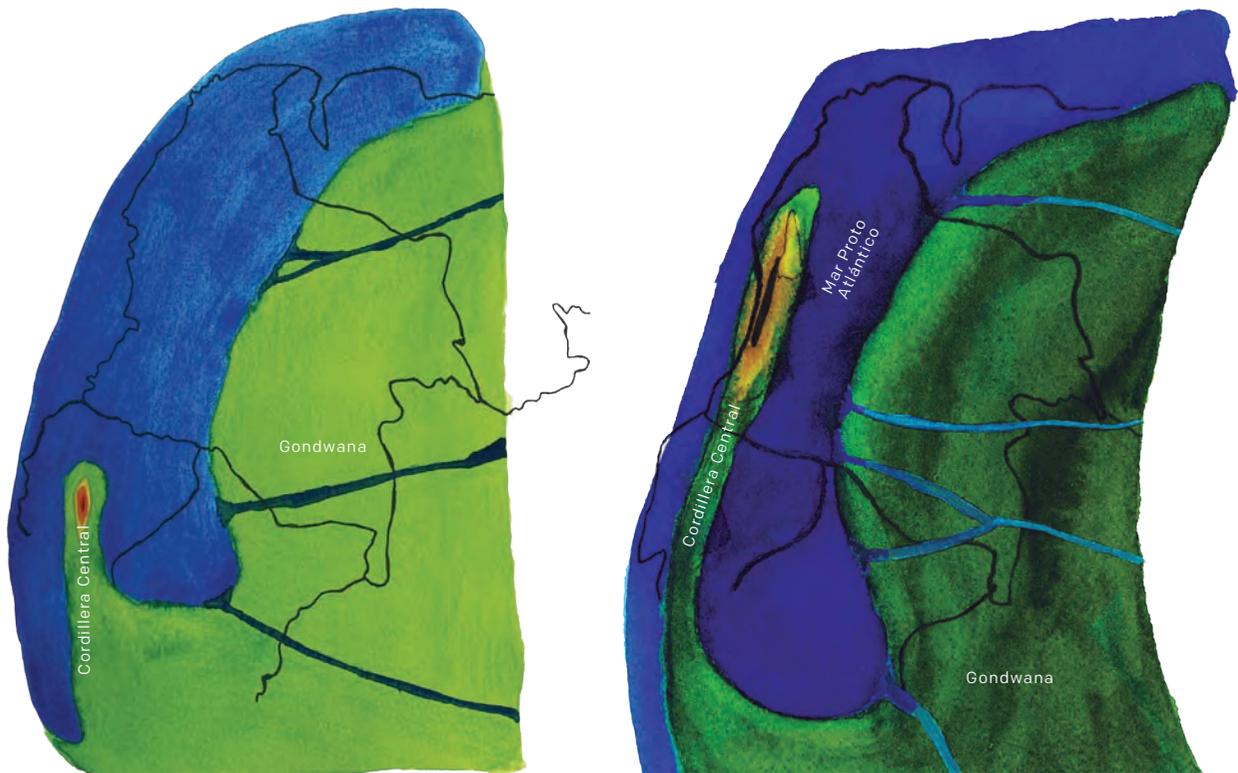
se encuentran sobre rocas sedimentarias y volcánicas marinas de edad Cretácico-Paleoceno. Estas rocas fueron igualmente generadas en el océano y traídas después al entrar en contacto con el continente suramericano por la acción de la tectónica de placas. Esta zona cafetera ofrece servicios ecosistémicos y ecoturísticos importantes que complementan la industria cafetera. Los visitantes de esta zona pueden disfrutar de varias reservas naturales, como los páramos de Frontino y San Rafael, y el parque nacional natural Las Orquídeas. Es importante resaltar que zonas cafeteras de menor extensión del departamento de Antioquia se encuentran localizadas en la vertiente oriental de la cordillera Central. Estas zonas cafeteras comprenden municipios como Gómez Plata, Santo Domingo, San Rafael, San Roque, Alejandría, Carolina del Príncipe, Amalfi y Caracolí, entre otros. Los cultivos de café en estos municipios están asociados principalmente a rocas ígneas intrusivas de edad Cretácica. A diferencia de las rocas intrusivas de la cordillera Occidental, estas se intruyeron en rocas más viejas del continente suramericano. Investigaciones recientes indican que esas rocas pudieron haber sido transportadas por tectónica de placas desde el Perú. La zona cafetera de esta región del departamento de Antioquia ofrece servicios ecoturísticos asociados a los embalses de agua usados para la generación de energía hidroeléctrica.

Las zonas cafeteras de Risaralda, Caldas y Quindío también se encuentran localizadas en las vertientes occidental y oriental de la cordillera Central y en la vertiente oriental de la cordillera Occidental. Las rocas de esta región son muy similares a las que se encuentran en Antioquia. En la vertiente occidental de la cordillera Central, los

Rocas volcánicas marinas cretácicas del flanco oriental de la cordillera Occidental. Estas rocas, que tienen forma de almohadillas, se originan cuando la lava entra en contacto con el agua de mar. Esto soporta la idea de que las rocas de la cordillera Occidental colombiana se originaron en una zona marina durante el Cretácico. Bolombó, Antioquia. Fotografía de Juan Carlos Silva



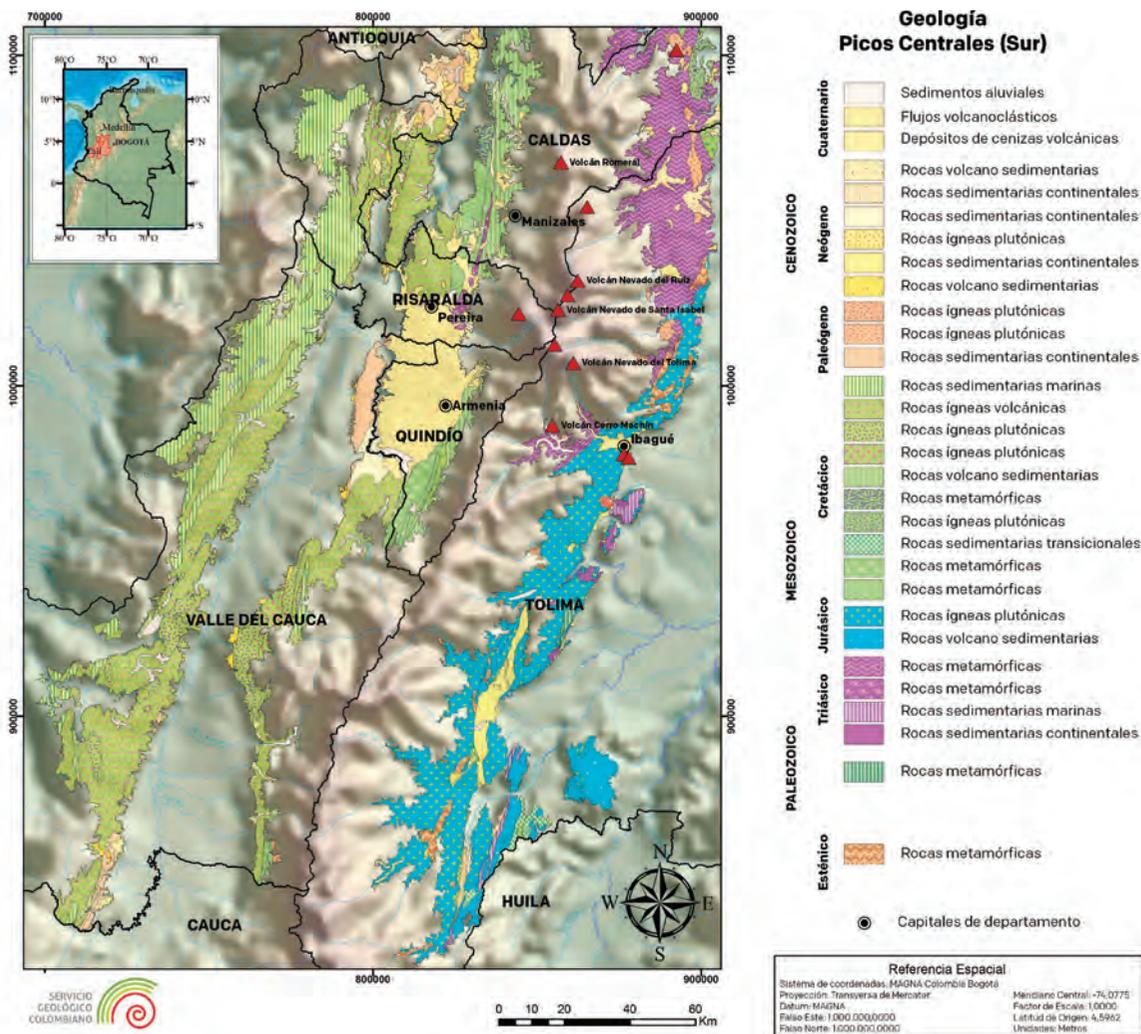
➤ Evolución del occidente colombiano . Mapa izquierdo (Cretácico), mapa central (Eoceno), mapa derecho (presente).
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza



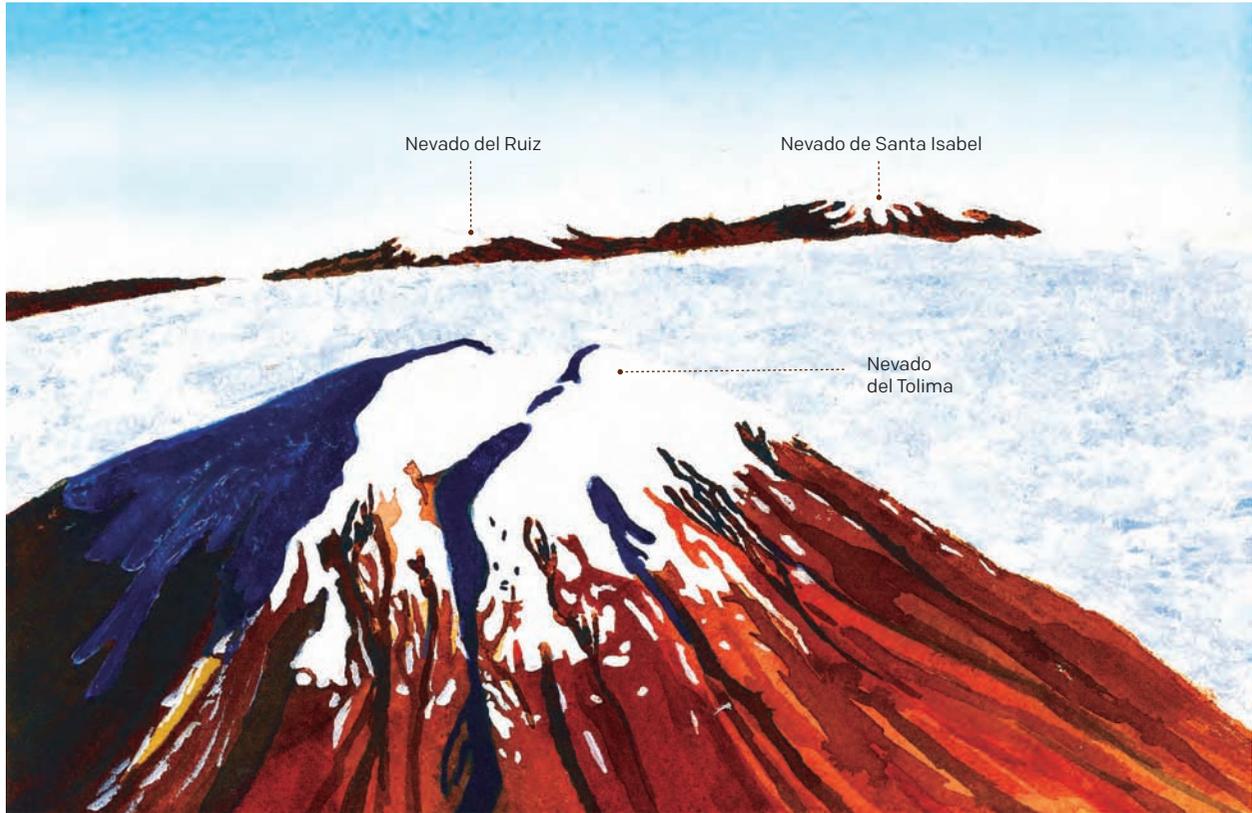
➤ Figura que muestra cómo parte de la cordillera Central se movió desde el Perú a partir del Cretácico.
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza

principales cultivos de café se encuentran distribuidos en dos zonas. La primera abarca municipios de los departamentos de Caldas y Risaralda (Aguadas, Pácora, Salamina, Aranzazu, Manizales, Villamaría, Pereira, Santa Rosa de Cabal, Chinchiná, Marsella y Belalcázar). En esta zona predominan rocas cretácicas sedimentarias, volcánicas. Algunos cultivos se encuentran, en menor proporción, sobre depósitos cuaternarios volcánicos y volcano-sedimentarios generados por el complejo volcánico Ruiz-Tolima. La segunda región, que se encuentra como una franja al sur del departamento de Risaralda y del depar-

tamento del Quindío (Armenia, Filandia, Montenegro, Quimbaya y Circasia, entre otros) presenta materiales volcánicos recientes del Cuaternario generados por el complejo volcánico Ruiz-Tolima, que aún continúa activo. Esta zona ha sido catalogada por la Unesco como patrimonio histórico de la humanidad y se conoce como "Paisaje Cultural Cafetero de Colombia". Esta zona se encuentra cerca de importantes atractivos de interés geológico y turístico, como el parque nacional de Los Nevados, donde no solo se pueden observar algunos de los picos nevados más representativos del trópico, sino también disfrutar



Geología de la región cafetera de los Picos Centrales (Sur). Adaptado por Catalina Sánchez Caballero del Mapa Geológico de Colombia 2015, escala 1:1000000, Servicio Geológico Colombiano



+ Complejo volcánico Ruiz-Tolima.
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza

de imponentes sistemas de aguas termales, atractivos turísticos que además representan un potencial de generación de energía geotérmica para Colombia. El parque nacional natural de Los Nevados y en general las cumbres centrales fueron declaradas por la Unesco, en 1979, patrimonio y reserva mundial de la biósfera.

Solo los departamentos de Caldas y Risaralda presentan cultivos en la vertiente oriental de la cordillera Occidental. En esta zona, la geología está dominada por rocas ígneas (volcánicas e intrusivas) y sedimentarias de origen marino, que se extienden hasta el Valle del Cauca. Municipios como Marmato, Supía, Riosucio y Filadelfia presentan cultivos asociados a rocas sedimentarias y rocas volcánicas e intrusivas (pórfidos) de edad Cenozoico. Estos últimos son de gran interés minero (oro y carbón) en la región. Municipios como

Pueblo Rico, Guática, Mistrató, Anserma, La Celia y Viterbo tienen sus cafetales asociados a rocas cretácicas volcánicas y sedimentarias. Estos municipios se encuentran muy cerca del parque nacional natural Tatamá.

Las zonas cafeteras de Caldas localizadas en las laderas orientales de la cordillera Central se encuentran exclusivamente asociadas a las rocas metamórficas paleozoicas. Estas rocas también se encuentran en algunas de las zonas cafeteras del departamento del Tolima. Algunos de los municipios cafeteros de esta zona son Fresno, Líbano, Murillo, Ibagué, Cajamarca, Rovira y Roncesvalles. En las zonas cafeteras del Tolima, también se encuentran rocas ígneas intrusivas y volcánicas de edad Jurásica y rocas ígneas intrusivas de edad Paleoceno. Estas unidades tienen gran interés a nivel económico, ya que grandes depósitos de oro

han sido explotados durante muchos años y otros han sido recientemente descubiertos.

Las zonas cafeteras del Valle del Cauca comprenden los municipios de Sevilla, La Victoria, La Virginia, Andalucía, Roldanillo, Versalles, El Cairo y Argelia. Los cultivos localizados en la vertiente occidental de la cordillera Central se encuentran asociados a rocas sedimentarias que se hallaban a lo largo de ríos y costas durante el Cenozoico, así como a rocas ígneas volcánicas y plutónicas, y rocas metamórficas de edad Cretácica. Los cul-

tivos de la vertiente oriental de la cordillera Occidental están asociados en su mayoría a rocas volcánicas cretácicas de origen oceánico. Las zonas cafeteras localizadas más hacia el sur, en el departamento del Valle del Cauca, comparten similitudes geológicas con los del norte del mismo departamento. Solo en municipios como Cali y Jamundí, los cultivos se encuentran asociados también a rocas sedimentarias del Cenozoico y a depósitos coluviales del Cuaternario.



Paisaje cultural cafetero. Risaralda.
Fotografía de Cenicafé

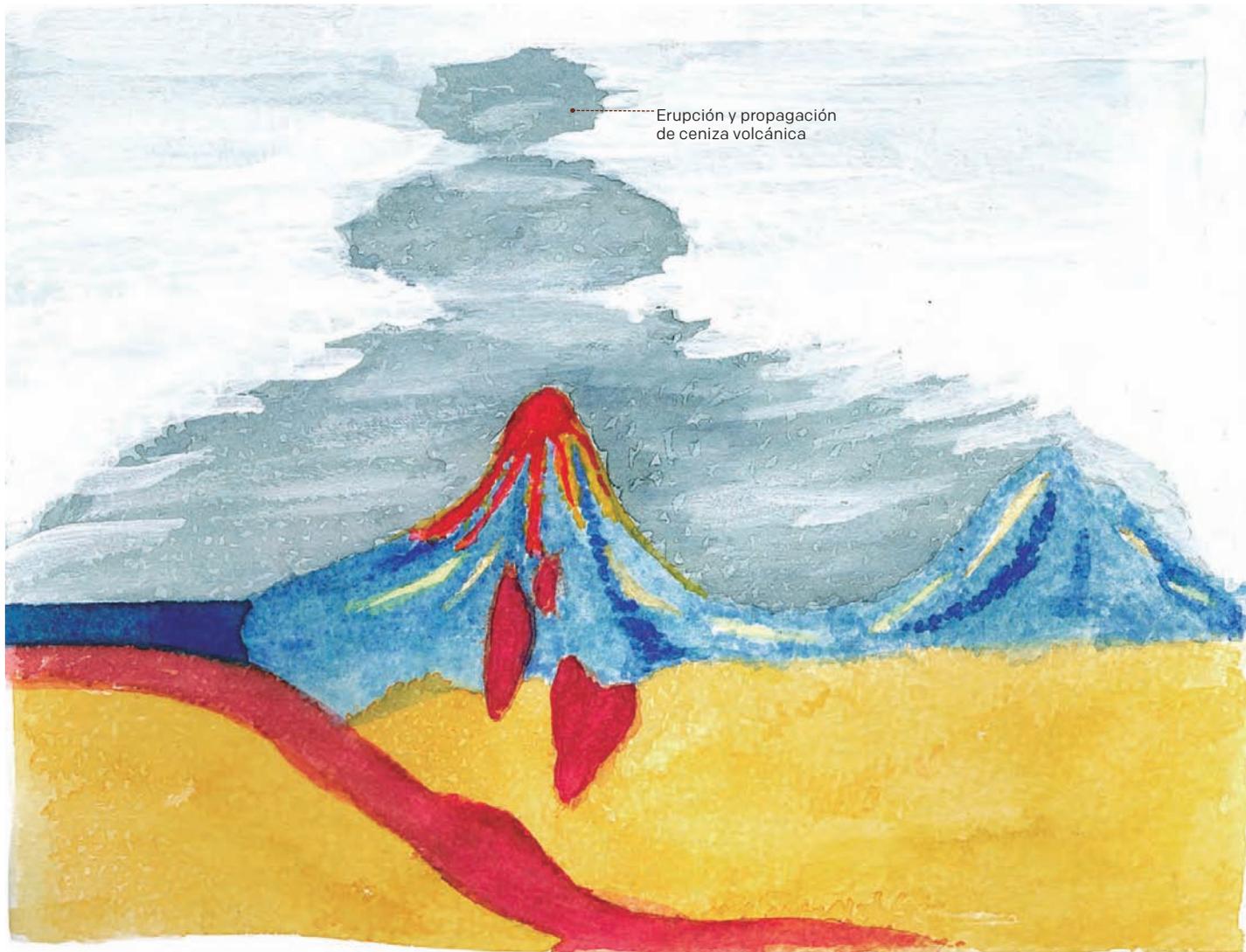


Los suelos cafeteros

Esta región ha sido la zona cafetera por excelencia a lo largo de nuestra historia, no solo por los tipos de suelos presentes, sino por su tradición y cultura. Los suelos de esta parte centro occidental de Colombia, al igual que los de otros sistemas montañosos, se encuentran distribuidos en varios pisos climáticos, y cubren extensas laderas que van desde los 500 hasta los 2600 m. s. n. m., y se han desarrollado bajo la influencia de una gran variedad de rocas.

Los materiales parentales a partir de los cuales se han formado los suelos cafeteros en la cordillera Central están constituidos en térmi-

nos generales por rocas muy antiguas formadas en el continente que han sufrido varios eventos metamórficos (cambios en su interior por el aumento de la presión y de la temperatura), y han estado sometidas a procesos de deformación tectónica por plegamientos y fracturas o “fallas”. Posteriormente, estas rocas fueron intruidas por rocas ígneas de edad Mesozoico-Cenozoico. Este gran mosaico de rocas ígneas y metamórficas ha estado expuesto a la actividad volcánica y sedimentaria, por lo cual encontramos secuencias sedimentarias y volcano-sedimentarias desde el Neógeno hasta la actualidad (Cuaternario).



Los procesos geológicos de gran escala (continentales) que dieron paso a los picos centrales han resultado en imponentes rasgos geomorfológicos, como por ejemplo la alta concentración de cadenas volcánicas, que configuran las zonas de mayor altura de la cordillera y los picos nevados, que llegan a alrededor de los 5700 m. s. n. m. De ellos heredamos gran parte de las formas del relieve montañoso y también espesos volúmenes de materiales volcánicos de diferente naturaleza.

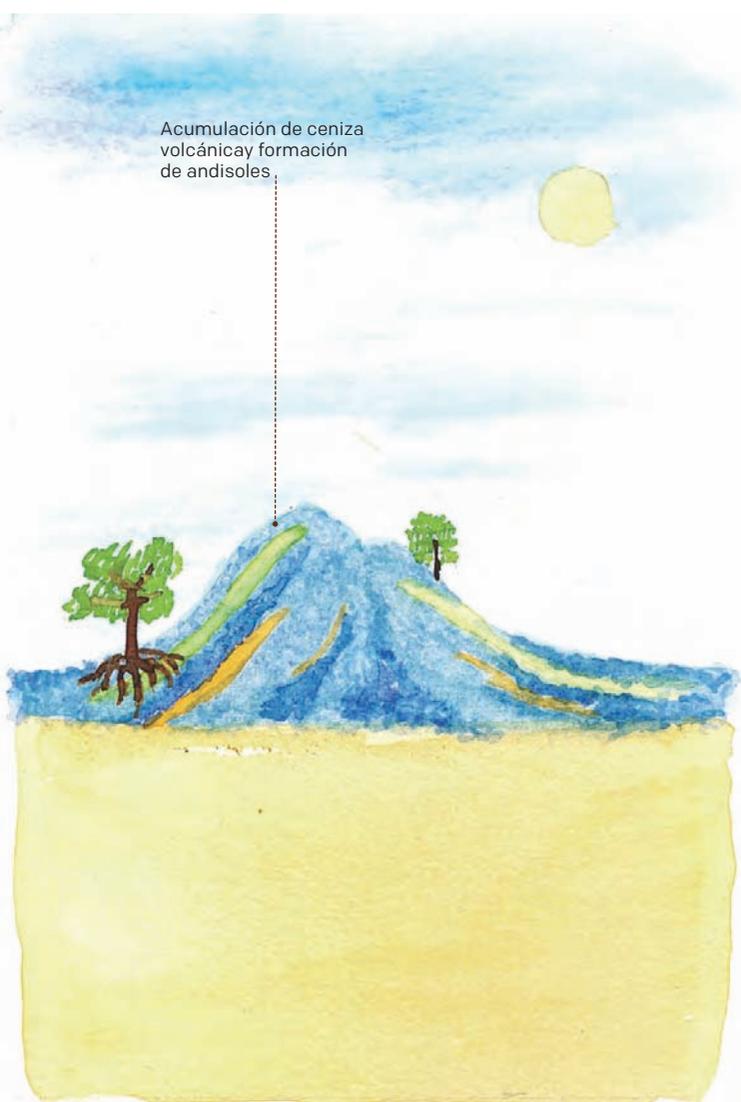
Los materiales piroclásticos que comúnmente llamamos *cenizas volcánicas* son las partículas que expulsan los volcanes cuando hacen erupción. Estos pequeños materiales pueden

ser expulsados con tal fuerza que pueden viajar kilómetros de distancia, depositarse lejos de la fuente y cubrir como un manto la geología preexistente. Pero también podemos encontrar manifestaciones volcánicas como coladas y flujos volcánicos que con el hielo de los picos nevados conforman una masa viscosa denominada *lahar*.

En los picos centrales encontramos una gran variedad de volcanes que se distinguen por su tamaño, forma característica y actividad (activo/latente/inactivo). Estos han sido agrupados así: el complejo volcánico del norte, compuesto por los volcanes San Diego, Romeral y Guadalupe, y el complejo volcánico Ruiz-Tolima, en el que se destacan el cerro Bravo, el cerro Tesorito, el Gualí, Cisne, Santa Rosa, Quindío, Tolima, Santa Isabel, Ruiz y Machín.

De todos ellos, probablemente el más conocido es el volcán Nevado del Ruiz. De este se conocen relatos históricos que comienzan a aparecer en 1595, como los citados en un fragmento de la carta emitida por fray Pedro Simón, o algunos más recientes, como el cubrimiento periodístico de la infortunada erupción ocurrida en 1985, en la que se desarrolló un inmenso lahar cuando los sedimentos piroclásticos entraron en contacto con el hielo derretido del nevado, que alcanzó el cauce del río Lagunillas y tuvo efectos catastróficos para la población de Armero, entre otras, localizada a 50 km de distancia. Sin duda, una de las peores tragedias reportadas en el mundo.

Acumulación de ceniza volcánica y formación de andisoles.





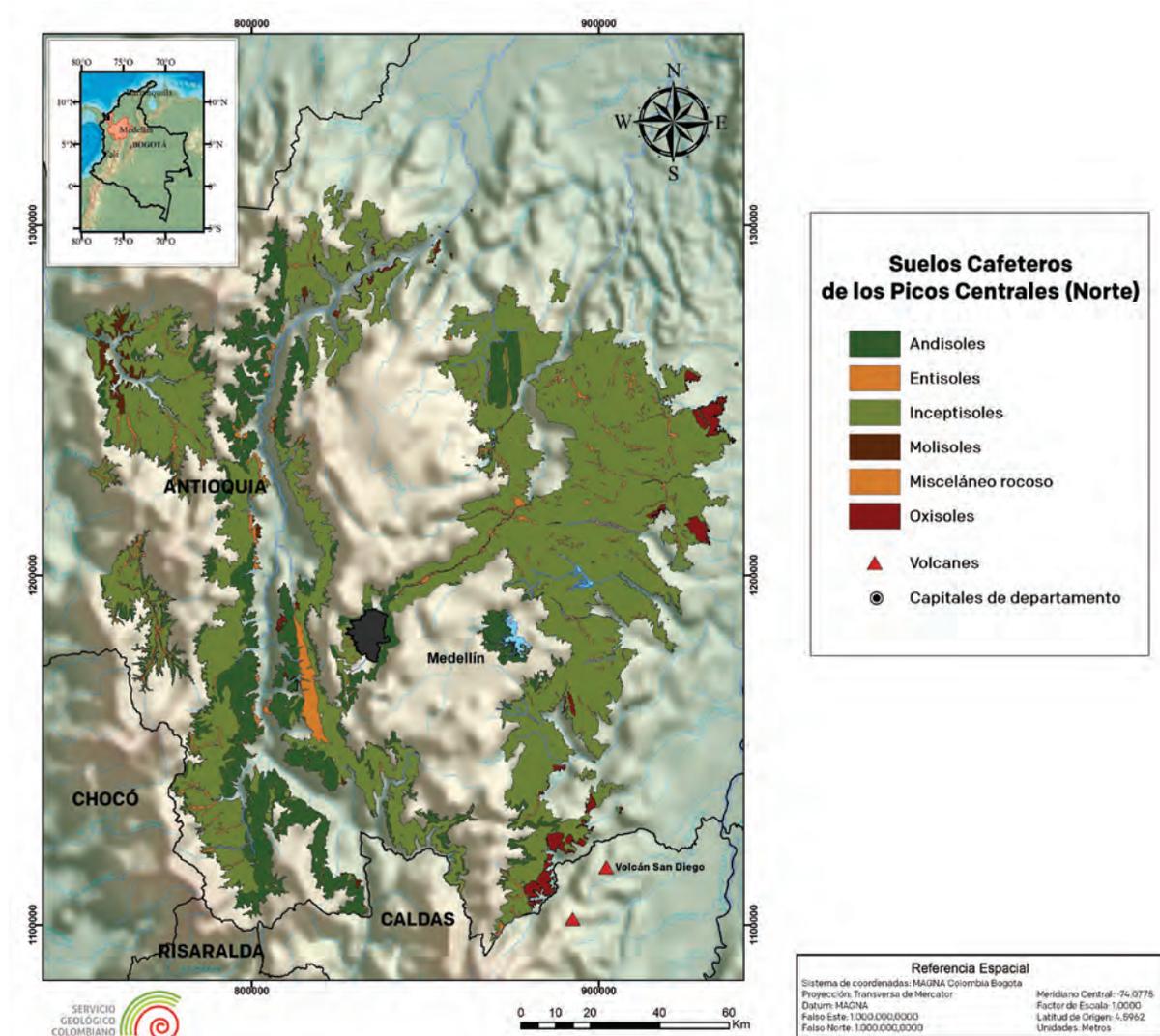
..."Sucedio pues, que el día, mes y año dichos, habiendo salido el sol muy claro y despabilado, a dos horas de su luz, que sería como a las ocho, salió de este volcán un tan valiente, ronco y extraordinario trueno, y tras él otros tres no tan recios que se oyeron en distancia de más de cuarenta leguas en su circunferencia y mucho mas la parte que soplabá el viento. Tras los cuales comenzaron a salir crecidos borbollones de ceniza orizente (de orín: escoria de metales) una noche muy oscura de tempestad y sin luna, y comenzó a caer envuelta con piedra pómez tan menuda como arena, que fue acrecentándose poco a poco, hasta ser como menudo granizo que hacía el mismo ruido que en los tejados. Duró esto como dos horas, habiéndose aclarado algo el aire, hasta que después de ellas tornó a oscurecerse con un nubarrón tan espeso que no se podía leer una carta, con ser casi medio día, prosiguiendo siempre el llover la ceniza y piedra pómez hasta las dos del día con aquella oscuridad, porque aclarando entonces quedó el horizonte como día nublado.

No cesó de llover de esta ceniza en toda la noche, de suerte que a la mañana estaba toda la tierra cubierta de más de una cuarta de piedra pómez y ceniza, que bajando pegajosa con la humedad que debía tener el volcán de donde salía, se pegaba mucho a donde quiera que caía. Y así se descubrió al otro día la tierra tan triste y melancólica, cubierta de ceniza, árboles y plantas, sembrados, casas y todo lo demás, que parecía un día de juicio..."

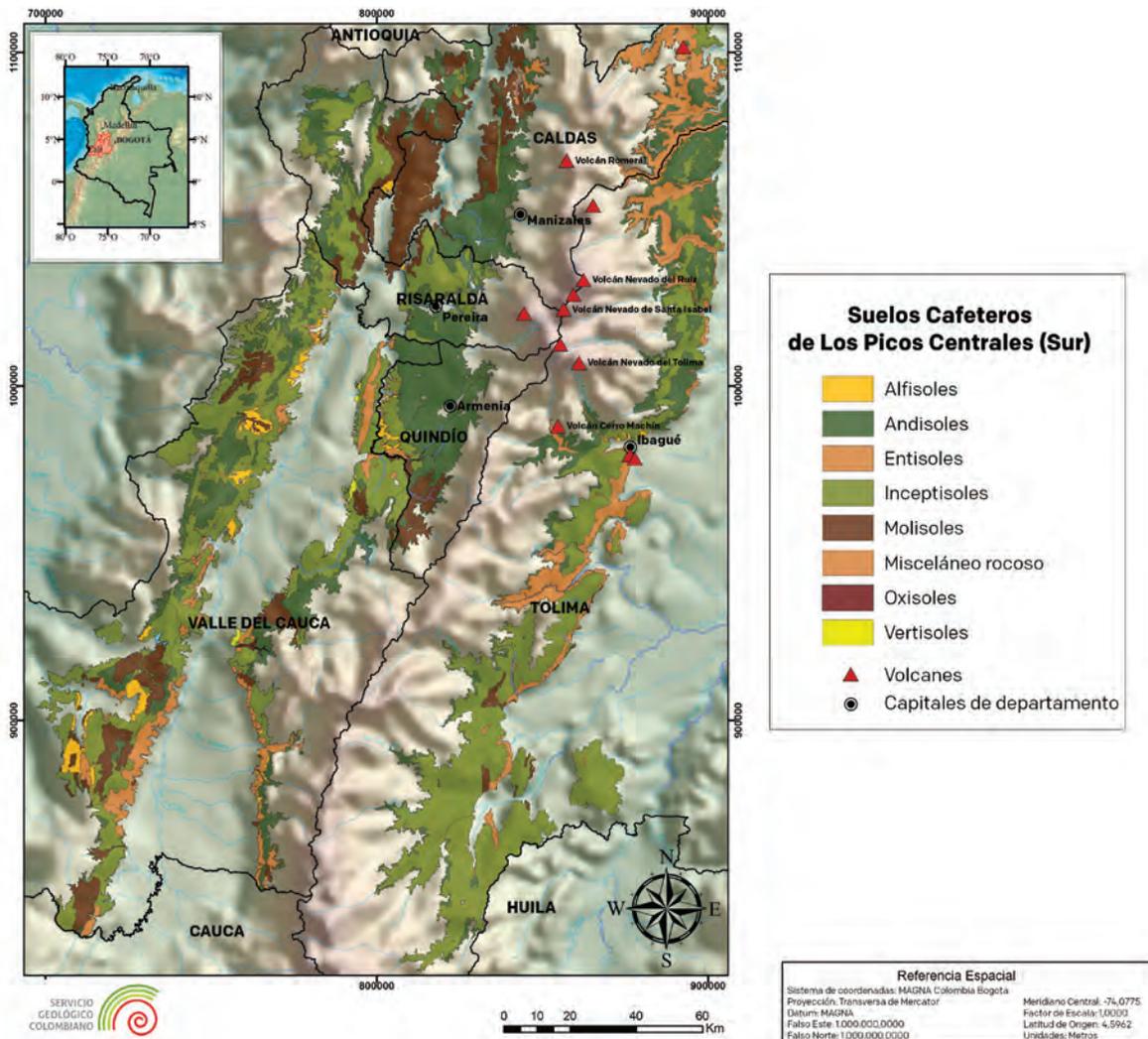


Por otro lado, en la cordillera Occidental los materiales parentales se han derivado de la meteorización de rocas de afinidad preferentemente oceánica, entre las cuales se encuentran rocas ígneas volcánicas sedimentarias y rocas ígneas plutónicas.

La suma de estos factores y la forma como interactúan producen una gran variedad de tipos de suelos, con características morfológicas, físicas, químicas y biológicas contrastantes, y que se ilustran a continuación. Su descripción se ha realizado en función de la extensión en los cultivos cafeteros.



+ Tipos de suelos desarrollados en la región cafetera de los Picos Centrales (Norte). Adaptado por Catalina Sánchez Caballero del Mapa de Órdenes de Suelos 2012, escala 1:100000, IGAC



Tipos de suelos desarrollados en la región cafetera de los Picos Centrales (Sur). Adaptado por Catalina Sánchez Caballero del Mapa de Órdenes de Suelos 2012, escala 1:100000, IGAC

Andisolos

La presencia de andisolos en esta región es considerable, pues, como se mencionó en capítulos anteriores, para su formación se requiere la presencia de materiales volcánicos piroclásticos meteorizados, es decir, de las cenizas producidas en una erupción volcánica. Los picos centrales al igual que la región de Colombia denominada Los Aromas del Sur, son las áreas con mayor influencia de los macizos volcánicos.

En las zonas cafeteras de los picos centrales, los andisolos se encuentran como franjas alarga-

das en dirección N-S y cubren desde Antioquia, en la parte septentrional, hasta el Valle del Cauca y Tolima, en el sur. Se localizan sobre las partes medias y medias bajas de los flancos oriental y occidental de la cordillera Central, y en el flanco oriental de la cordillera Occidental. Su desarrollo es prominente en lo que comúnmente se ha denominado *el triángulo del café*, forma geométrica que resulta al unir los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío.

Entre las principales características de estos suelos se encuentran la buena estructuración



⊕ Andisoles presentes en los municipios de Calarcá, Armenia, Circasia y La Tebaida. Se formaron a partir de cenizas volcánicas con texturas arenosas, débilmente estructurados y fuertemente ácidos. Fotografía de Hernán González Osorio, Cenicafé

pedogenética, que les permite tener buena aireación y movilidad del agua en su interior. Son suelos poco densos y de coloraciones oscuras con altos contenidos de materia orgánica. Se caracterizan por tener muy buena estabilidad estructural, tener espesores considerables y presentar altos contenidos de materia orgánica, deficiencias de fósforo, fertilidad natural de media a baja y tendencia ácida.

Inceptisoles

Como se ha visto, estos suelos son los de mayor extensión en el territorio colombiano, y en la región central se encuentran limitados como franjas alargadas discontinuas, desarrollados sobre diversas litologías en ambos flancos de la cordi-

llera Central y en el flanco oriental de la cordillera Occidental. Son particularmente extensos en el sur, en el departamento del Tolima, donde cubren grandes porciones de los municipios de Rioblanco, Chaparral, Planadas y Ataco, entre otros. Estos suelos se caracterizan por ser de reciente formación, es decir, poco evolucionados, y por estar localizados en zonas de relieves escarpados con predominio de procesos erosivos. Es por esto que son muy superficiales y de baja a media fertilidad.

Entisoles

Estos suelos se encuentran en menor proporción que los inceptisoles, y su extensión es notable en las partes medias bajas de la vertiente oriental de la cordillera Central. Aunque no presentan un patrón definido, en esta parte de la cordillera es común verlos asociados a los principales sistemas aluviales que drenan sus aguas al Magdalena, como los ríos La Miel, Gualí y Roncesvalles, principalmente.

Los entisoles son suelos incipientes, de poco desarrollo pedogenético, cuya variación altitudinal se encuentra en un rango que varía desde los 700 hasta los 2400 m. s. n. m. Por lo general presentan baja fertilidad, debido al poco contenido de iones básicos, con tendencia ácida y su perfil típico se encuentra representado por los horizontes A/C o A/R.

Molisoles

En orden de extensión, los molisoles corresponden a los últimos suelos de interés en la zona. Sin embargo, estos son suelos que ostentan muy buenas características físicas y químicas. Este tipo de suelos, se encuentran principalmente sobre las partes medias y medias a bajas de las laderas que constituyen la cuenca del río Cauca, en alturas que oscilan entre los 600 y los 2200 m. s. n. m., en variados pisos térmicos, desde cálido hasta frío. En contraste, su extensión es mínima en la cuenca del río Magdalena.

Estos suelos han evolucionado a partir de una gran diversidad de rocas, entre ellas, metamórfi-

cas, ígneas plutónicas, ígneas volcánicas y algunos depósitos cuaternarios con influencia de cenizas volcánicas. Generalmente son profundos, bien drenados, con alto contenido de materiales orgánicos, buena fertilidad y una reacción que oscila de ácida a neutra, es decir, son suelos muy apreciados por su productividad. Los perfiles típicos están constituidos por horizontes A/B/C.

▲ LAS ALTAS CUMBRES DEL CARIBE (SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA Y SERRANÍA DEL PERIJÁ)

Las zonas cafeteras localizadas más en el norte de Colombia se encuentran a lo largo de la Sierra Nevada de Santa Marta y la serranía del Perijá. Mientras la serranía del Perijá está unida al sistema montañoso andino y se puede considerar una extensión de la cordillera Oriental, la Sierra Nevada de Santa Marta es un macizo montañoso aislado, separado del sistema andino por el valle inferior del río Magdalena y los valles de los ríos Cesar y Ranchería.



➤ Vista panorámica de la Sierra Nevada de Santa Marta desde la Serranía del Perijá. Fotografía de la Federación Nacional de Cafeteros





Cordillera Mérida

Cordillera Oriental

Lago Maracaibo



Océano Pacífico

Panamá

SNSM

Mar Caribe

Localización
de la Sierra
Nevada de
Santa Marta
(SNSM).
Imagen de
Google Earth
del Norte de
Colombia

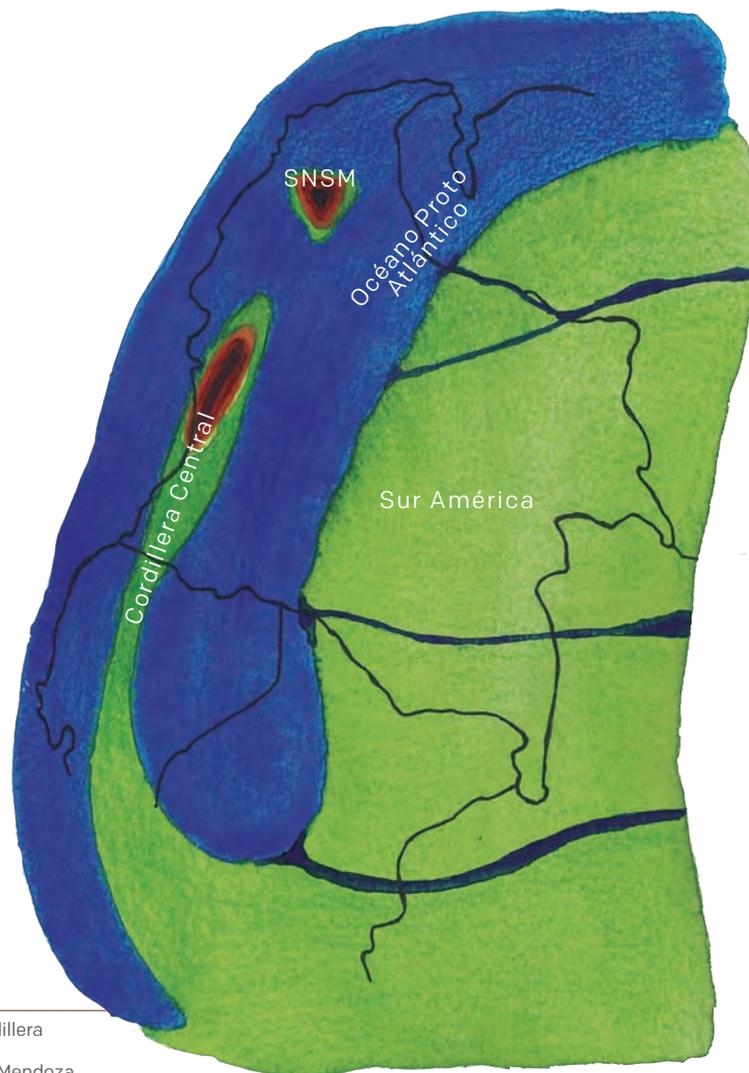


Las rocas

Estas dos entidades fisiográficas son muy diferentes geológicamente. Mientras que la serranía del Perijá está muy asociada a la geología de la cordillera Oriental colombiana, la Sierra Nevada presenta características geológicas muy similares a las de la cordillera Oriental. Las similitudes geológicas de la Sierra Nevada de Santa Marta y de la cordillera Central colombiana han sido utilizadas para proponer que la primera se separó de la segunda por la acción de la tectónica de placas. Dicha separación habría tenido lugar entre el final del Jurásico y el inicio del Cretácico, y

habría estado relacionada con el movimiento e interacción de las placas tectónicas del Caribe y Suramérica.

La Sierra Nevada de Santa Marta es la montaña de mayor altura en Colombia (alcanza los 5775 m. s. n. m.) y, a la vez, es la formación montañosa de mayor altitud en el mundo ubicada junto al mar. En este macizo ha ocurrido un sinnúmero de procesos endógenos que promueven no solo el levantamiento (orogénico), sino la fuerte actividad tectónica, magmática y el vulcanismo. Algunos trabajos científicos indican que la Sierra Nevada no siempre tuvo esa altura, y proponen



+ Separación de la SNSM de la cordillera Central durante el Cretácico.
Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza

que comenzó a ganar altura hace 4 millones de años. En contraste, la serranía del Perijá comenzó a levantarse hace 13 millones de años.

Las zonas cafeteras de la serranía del Perijá están localizadas entre los 500 y 2100 m. s. n. m. Algunos municipios cafeteros en esta región son Manaure y Molino (departamento de La Guajira) y Codazzi (departamento del Cesar). Geológicamente, los cultivos de café en esta zona se encuentran asociados principalmente a rocas volcánicas de edad Jurásica, y en menor proporción a rocas sedimentarias continentales y marinas del Pérmico, y rocas metasedimentarias cámbrico-ordovícicas.

Las zonas cafeteras de la Sierra Nevada de Santa Marta ocupan una extensión de aproximadamente 231691 ha y se encuentran entre los 500 y 1800 m. s. n. m. La mayoría de los cultivos de

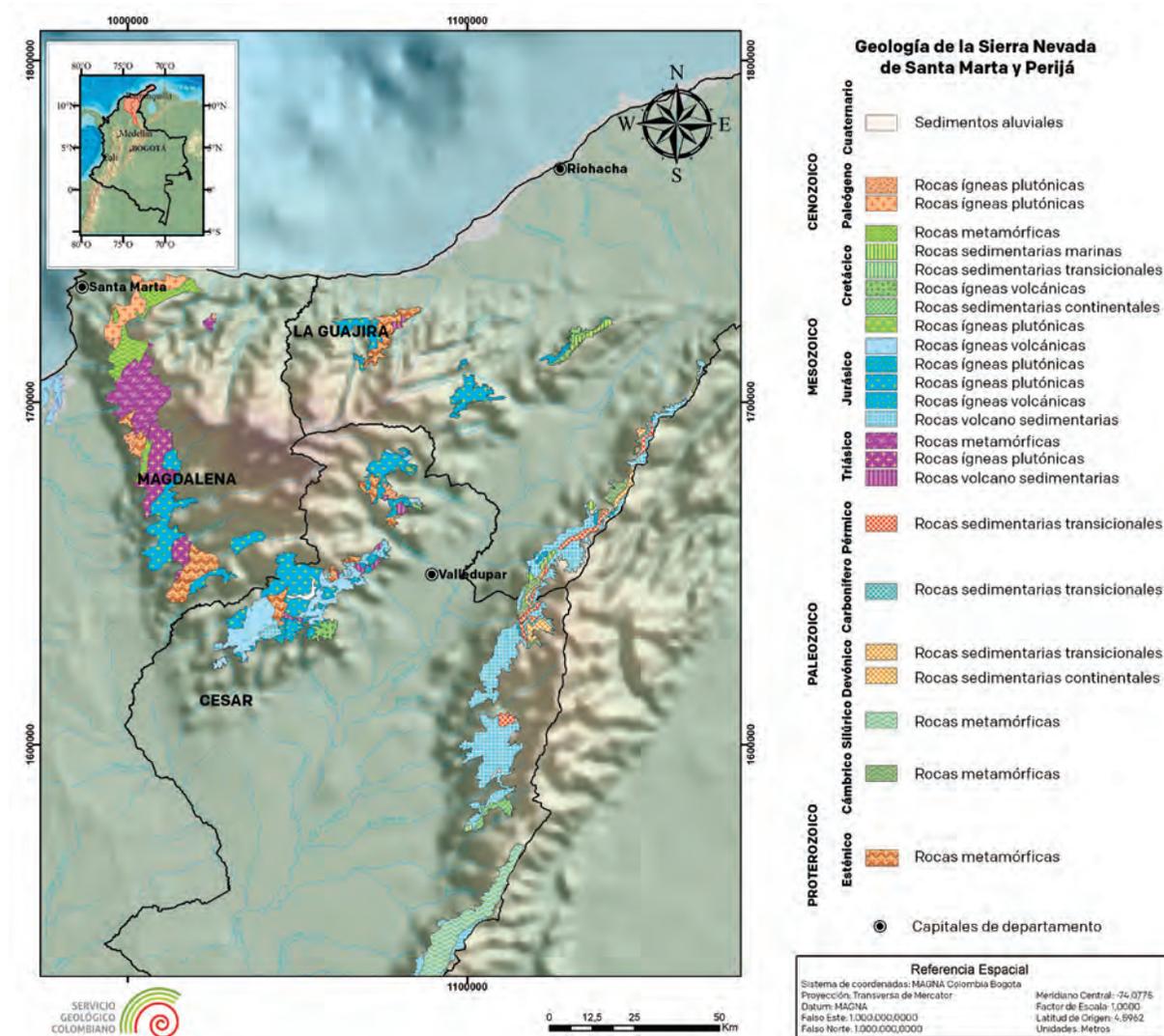
café se encuentran en resguardos indígenas pertenecientes a los municipios de Barrancas, Hatonuevo y Dibulla, en La Guajira; Fundación, Aracataca, Ciénaga y Santa Marta, en Magdalena, y Copey, San Juan del Cesar, Riohacha, Pueblo Bello y Valledupar, en Cesar. Los cultivos de café de la parte oriental y suroriental de la Sierra Nevada se encuentran asociados a rocas volcánicas y a rocas ígneas intrusivas de edad Jurásica.

Los cultivos localizados en la parte suroriental de la Sierra se encuentran asociados a rocas ígneas intrusivas (granitos) jurásicas, a rocas metamórficas (gneises) de edades Proterozoicas, Paleozoicas, Pérmico-Triásicas y Cretácicas. Los cultivos de la parte norte de la Sierra se encuentran en áreas donde predominan rocas ígneas plutónicas (granitos) jurásicas y proterozoicas.



+ Cercanía de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) a la Mina de carbón del Cerrejón, una de las minas de carbón a cielo abierto más grandes del mundo. Imagen Google Earth

Las características fisiográficas de la Sierra Nevada de Santa Marta y de la serranía de Perijá, junto con las características étnicas de sus pobladores, hacen de estos dos sistemas montañosos un patrimonio natural y cultural de Colombia. Como se verá más adelante, estas características únicas han permitido desarrollar actividades socioeconómicas sostenibles como ecoturismo y agricultura ecológica, entre otras. De hecho, la Sierra Nevada de Santa Marta fue declarada por la Unesco, en 1979, patrimonio y reserva mundial de la biósfera. La Sierra Nevada de Santa Marta limita por el sur con la Ciénaga Grande de Santa Marta, igualmente declarada por la Unesco como patrimonio y reserva mundial de la biósfera.



Geología de la región cafetera en la Sierra Nevada de Santa Marta y la serranía del Perijá. Adaptado por Catalina Sánchez Caballero del Mapa Geológico de Colombia 2015, escala 1:1000000, Servicio Geológico Colombiano

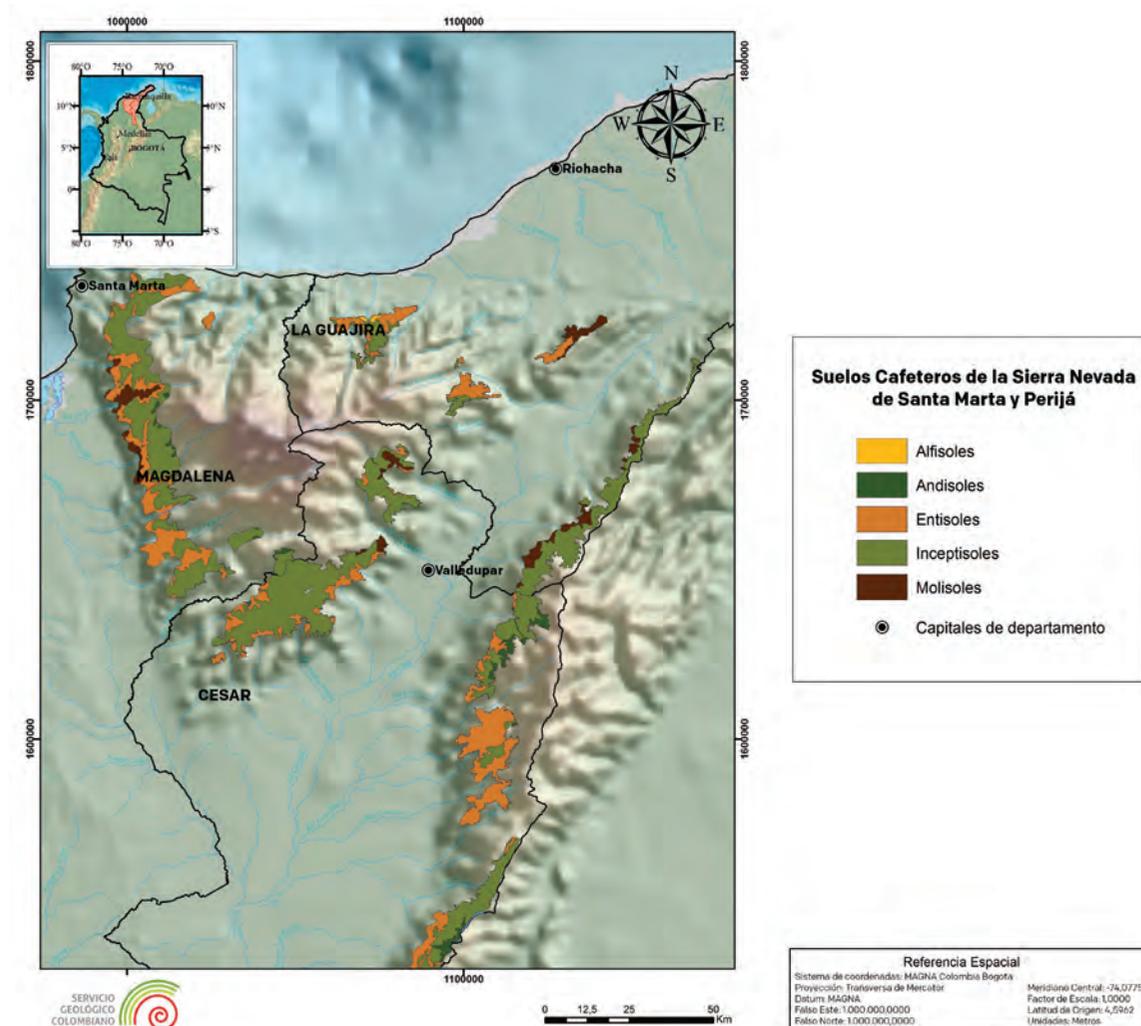
Los suelos cafeteros

Los suelos de la Sierra Nevada y de la serranía del Perijá, en términos generales, se encuentran en un estado de evolución incipiente; es decir, son suelos relativamente jóvenes y de pocos espesores. La mayoría de sus suelos corresponden a los órdenes entisol e inceptisol. En parte esto se debe a la actividad tectónica (levantamientos orogénicos) a la que han estado expuestos desde sus orígenes hasta la actualidad.

Como resultado tenemos una región donde predominan laderas con altas pendientes y agu-

das cimas, características de un ambiente erosivo que no les dan a los suelos el tiempo suficiente para su desarrollo. Adicionalmente, en esta región imperan climas entre húmedos y húmedos secos, lo que delimita un determinado sustento vegetal que, aunado a abundante infiltración en el interior del suelo, permite la salida de cationes básicos y la presencia de suelos de tendencia ácida.

Específicamente, los suelos cafeteros de la Sierra Nevada se restringen a sus estribaciones occidental, oriental y sur, y circundan las partes



Tipos de suelos desarrollados en la región cafetera de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá.
 Adaptado por Catalina Sánchez Caballero del Mapa de Órdenes de Suelos 2012, escala 1:100000, IGAC

bajas de la Sierra, mientras que los de Perijá se encuentran limitados a la vertiente occidental. Las alturas en esta región oscilan entre los 500 y los 2100 m. s. n. m., aproximadamente, y cubren un amplio espectro de climas; sin embargo, predomina el cálido seco, y han sido modelados en diversos tipos de rocas. De los factores formadores, son quizás el clima y el relieve los que mayor influencia tienen en los procesos pedogenéticos. Allí encontramos los siguientes órdenes, nombrados de acuerdo con la relevancia de la extensión:

Inceptisoles

Son los suelos predominantes de los cafetales cultivados en la Sierra Nevada de Santa Marta y en la serranía del Perijá. En la Sierra Nevada estos suelos se han desarrollado sobre rocas metamórficas muy antiguas (granulitas precámbricas y esquistos cretácicos) y diversos cuerpos intrusivos de varias edades (desde el Pérmico hasta el Paleógeno). En Perijá se han desarrollado sobre rocas sedimentarias (areniscas, limolitas, calizas —cuyas edades van desde el Devónico hasta el Jurásico—, ígneas volcánicas (lavas riolíticas del Jurásico) y metamórficas (esquistos y filitas del Cámbrico). Las determinaciones realizadas en estos suelos indican moderada evolución, con bajos contenidos de materia orgánica, texturas variadas de tendencia fuertemente ácida a neutra y fertilidad moderada. El desarrollo pedogenético exhibe un perfil típico A/B/C.

Entisoles

En la Sierra Nevada, los entisoles ocupan las vertientes occidental y oriental. Se han desarrollado sobre rocas ígneas intrusivas (cuarzodioritas y granodioritas principalmente) y volcánicas (ignimbritas). Por otra parte, en la serranía del Perijá se encuentran limitados hacia las partes más bajas, y su desarrollo se ha dado a partir de rocas sedimentarias (conglomerados, arenitas, lodoli-

tas y calizas, depositadas desde el Devónico hasta el Jurásico). Las determinaciones realizadas en estos suelos indican moderada evolución, con altos contenidos de materia orgánica, texturas finas y de tendencia ácida, y fertilidad moderada. El desarrollo pedogenético exhibe un perfil típico A/B/C, y en secciones con fuertes pendientes y alta erosión, un perfil A/C.

Andisoles

Ocupan una pequeña extensión de los suelos cafeteros y están restringidos a unos pocos parches en la vertiente occidental de cada macizo. En la Sierra, los andisoles tienen como basamento las rocas ígneas plutónicas triásicas y jurásicas (granodioritas), y en Perijá, rocas sedimentarias depositadas desde el Devónico hasta el Jurásico (conglomerados, areniscas y limolitas). Son suelos que evidencian la actividad volcánica de la región, pues son el resultado de la interacción de cenizas volcánicas con materia orgánica. Presentan moderada evolución pedogenética. Perfil típico A/B/C o A/C.

Molisoles

Estos suelos minerales de coloración oscura se encuentran en las partes más bajas de la Sierra Nevada y de la serranía del Perijá, donde la altura no sobrepasa los 1000 m. s. n. m. De las regiones cafeteras ocupan una pequeña extensión. En la Sierra, sus materiales parentales corresponden a rocas metamórficas (gneises de edad Triásica), rocas ígneas plutónicas (granitos, granodioritas y cuarzodioritas de intrusiones jurásicas), rocas ígneas volcánicas (ignimbritas del Cretácico) y rocas sedimentarias marinas (calizas del Cretácico Superior). Estos suelos presentan una evolución de incipiente a moderada, buenas condiciones físicas, tendencia levemente ácida a neutra y buena fertilidad natural. En la región el perfil común es A/R o A/C.



La complejidad de los procesos naturales que han ocurrido a lo largo de millones de años en nuestro territorio, han controlado el curso de la evolución geológica, esculpiendo importantes entidades fisiográficas. La historia geológica se puede contar a partir de los secretos que esconden las rocas, mientras que de los suelos podemos leer la expresión más dinámica de nuestra superficie.



▲ AROMAS DEL SUR (CAUCA, NARIÑO, HUILA Y PUTUMAYO)

Los cultivos de café del sur de Colombia se encuentran en los departamentos de Cauca, Nariño, Huila y Putumayo distribuidos a lo largo de las vertientes oriental de la cordillera Occidental y oriental de la cordillera Central y a lo largo del Nudo de los Pastos. Estos cultivos abarcan pisos térmicos entre 1200 y 2200 m. s. n. m.

Las rocas

Los cultivos más nórdicos de esta zona cafetera se encuentran en el departamento del Cauca. Los cultivos de café se encuentran desarrollados en su mayoría sobre rocas volcánicas y volcano-sedimentarias del Cuaternario. Estos depósitos están asociados a la cadena volcánica Puracé-Galeras. Algunas zonas cafeteras situadas en la parte centro-occidental del departamento del Cauca se encuentran asociadas a rocas volcano-sedimentarias marinas cretácicas de origen oceánico y a rocas sedimentarias de afinidad

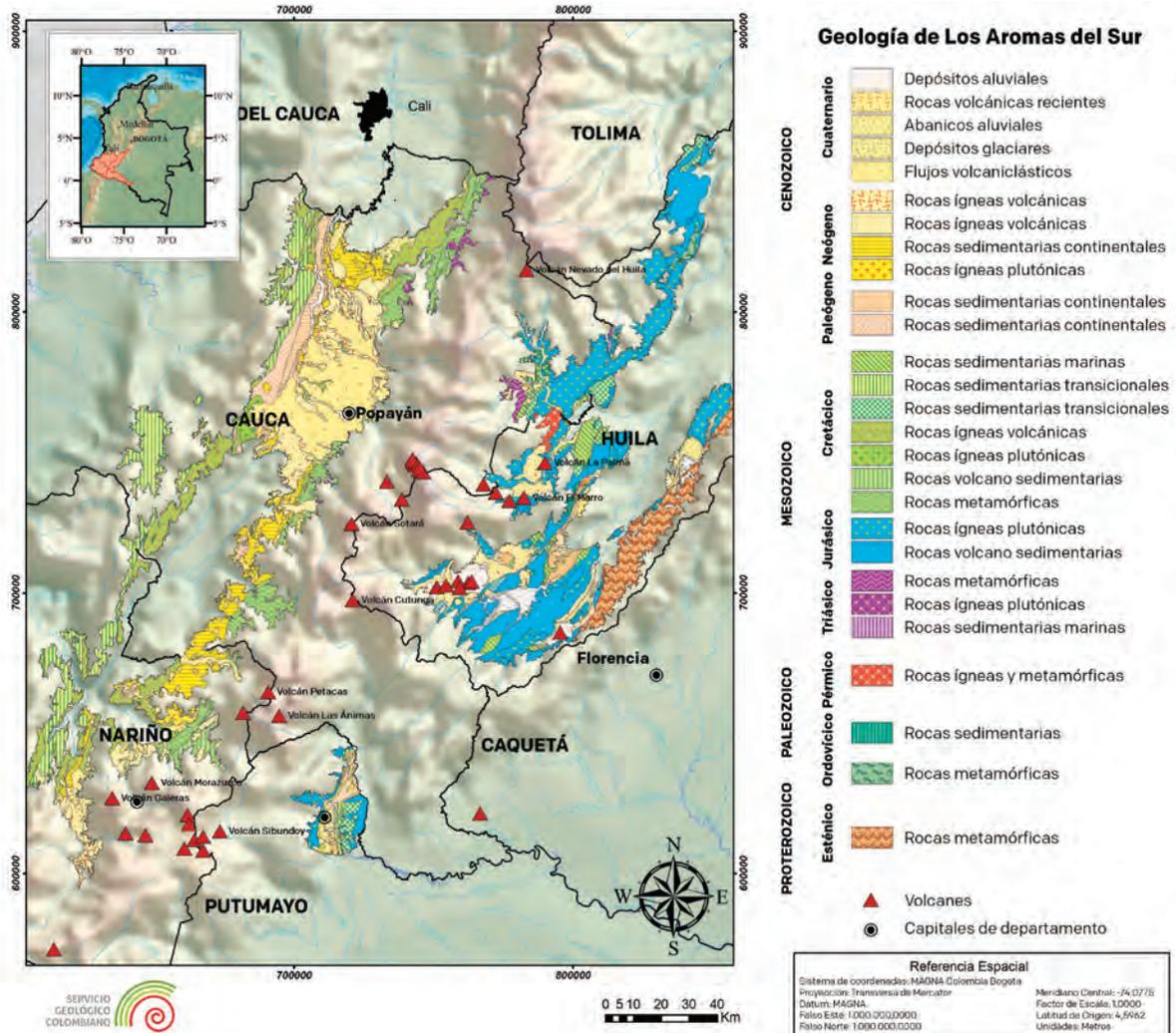


Vista panorámica de los volcanes Chiles y Cumbal en el departamento de Nariño, Sur de Colombia.
Fotografía de Óscar Cadena Ibarra, Servicio Geológico Colombiano, 2016

continental y/o litoral del Cenozoico. En el oriente del departamento algunas zonas cafeteras se encuentran asociadas a rocas metamórficas y volcано-sedimentarias de edad Cretácica. En la parte sur del departamento, a lo largo de la cuenca del Patía, los cultivos de café se encuentran en áreas donde predominan rocas sedimentarias continentales a costeras cenozoicas y rocas sedimentarias y volcано-sedimentarias cretácicas.

Las zonas cafeteras del sur del departamento del Huila se encuentran localizadas a lo largo de la vertiente oriental de la cordillera Central y

a lo largo de la parte noroccidental del Nudo de los Pastos. En esta zona los cultivos de café se encuentran asociados en su mayoría a rocas volcánicas y volcано-sedimentarias jurásicas de la formación Saldaña. Depósitos volcánicos y rocas efusivas de edad Pleistoceno-Holoceno, pertenecientes al complejo volcánico Puracé-Huila, constituyen la geología de las segundas zonas cafeteras más abundantes en el departamento del Huila. Los cafetales en el sur del departamento del Huila también se presentan en menor proporción donde predominan rocas sedimentarias

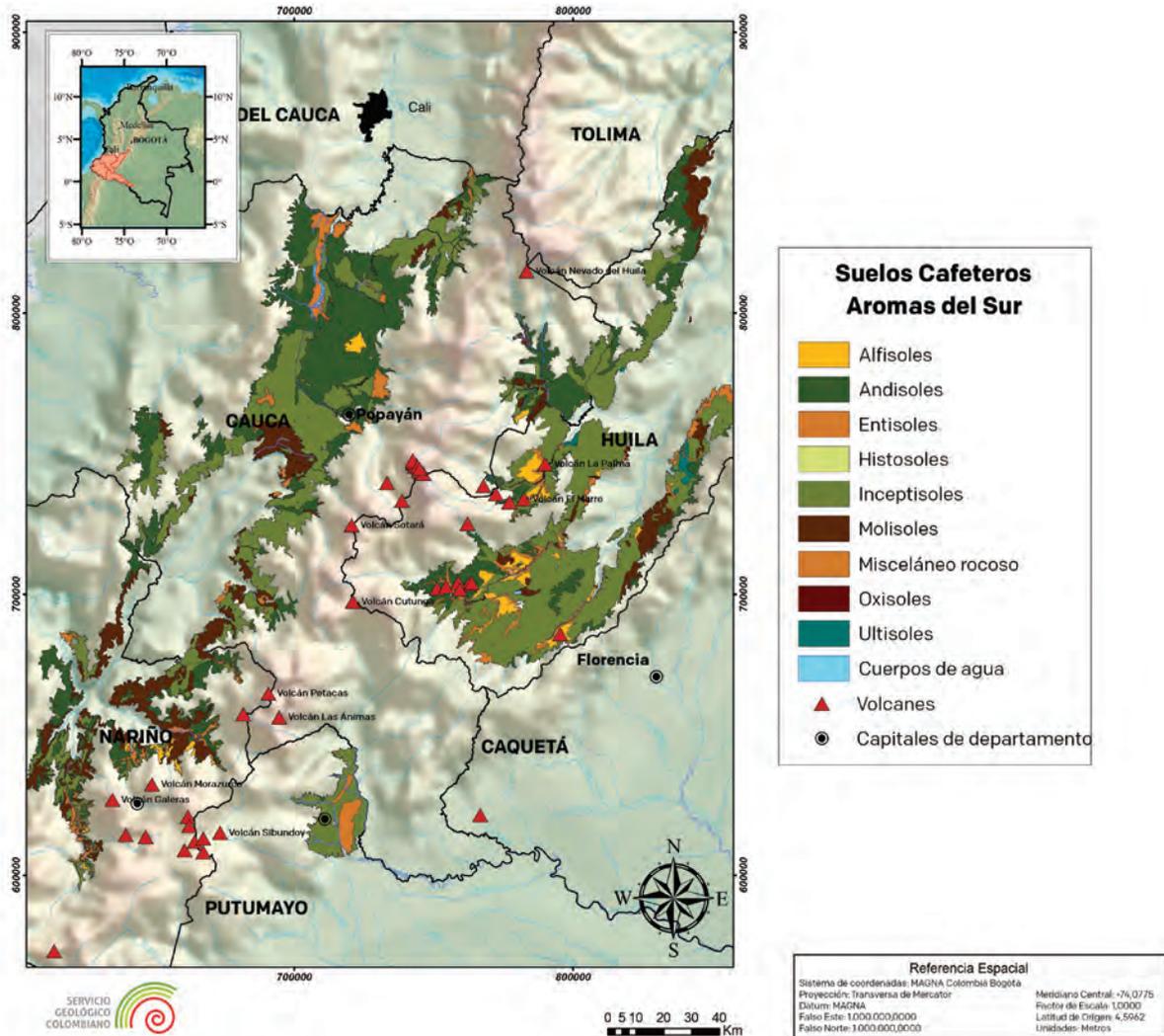


Geología de la región cafetera de los Aromas del Sur. Adaptado por Catalina Sánchez Caballero del Mapa Geológico de Colombia 2015, escala 1:1000000, Servicio Geológico Colombiano

marinas y costeras de edad cretácica y rocas volcánicas del Plioceno. San Agustín, Pitalito, Palestina, Yaguará y Santa María son algunos de los municipios pertenecientes a esta zona cafetera. Los servicios ecosistémicos y ecoturísticos de esta zona son muy variados. Probablemente el más importante es el parque arqueológico de San Agustín, declarado patrimonio histórico de la humanidad por la Unesco en 1995.

Las zonas cafeteras más meridionales de Colombia se encuentran en el departamento de Nariño. Estas zonas cafeteras están localizadas

en áreas donde predominan rocas sedimentarias y volcánicas del Cretácico, y en menor proporción, rocas volcano-sedimentarias y metamórficas cretácicas y rocas sedimentarias costeras y continentales cenozoicas, y depósitos volcánicos cuaternarios del complejo volcánico Galeras-Doña Juana. El departamento de Putumayo también hace parte de los Aromas del Sur. En este departamento los cultivos de café están asociados a rocas sedimentarias marinas del Cretácico y sedimentarias continentales del Cenozoico, así como a rocas volcánicas del Jurásico.



Tipos de suelos desarrollados en la región cafetera de Los Aromas del Sur. Adaptado por Catalina Sánchez Caballero del Mapa de Órdenes de Suelos 2012, escala 1:100000, IGAC

Los suelos cafeteros

A lo largo de la historia geológica colombiana contada a partir de una taza de café, podemos notar que los suelos reservados para la producción de este fruto se encuentran dispersos por todo nuestro territorio montañoso. Hacia la zona sur, que no es la excepción, encontramos abundantes cafetales localizados en los departamentos del Cauca, Nariño, Huila y una pequeña porción de Putumayo, que producen cafés suaves reconocidos por su calidad, muchos de ellos producidos mediante técnicas tradicionales con

aumento de tendencia hacia los cultivos orgánicos. Esto se debe a las condiciones particulares a partir de las cuales evolucionaron los suelos, a la oferta ambiental y a las condiciones naturales relacionadas con la fertilidad.

Aquí, las formas del relieve incluyen exuberantes montañas, entre las que podemos citar, de sur a norte, el Nudo de los Pastos, lugar donde se bifurca la cordillera de los Andes, y el Macizo Colombiano, donde nace la cordillera Oriental. Esta región es reconocida por la presencia de varios complejos volcánicos, entre los que se encuen-

tran Chiles-Cumbal-Azufral, Galeras-Doña Juana y Puracé-Nevado del Huila, en el norte. Como consecuencia, tenemos una región donde predominan extensas laderas con altas pendientes y cimas agudas; sin embargo, debido a la actividad volcánica que ha esculpido gran parte del territorio, encontramos zonas de relieves relativamente suaves, características de un ambiente erosivo que retarda la evolución del suelo.

Desde el punto de vista geológico encontramos rocas metamórficas muy antiguas del Paleozoico que configuran el núcleo de la cordillera Central. En contraste, hacia el occidente las rocas evidencian un ambiente marino volcánico. Algunas rocas ígneas también se encuentran en esta región. Durante el Paleógeno comenzó la historia del levantamiento de la cordillera Occidental, y con ella también nacieron cuencas sedimentarias, como la del Cauca-Patía. En el Mioceno se dio un importante evento de sedimentación, y al mismo tiempo se desarrollaron los complejos volcánicos que encontramos actualmente y que son los responsables de cubrir gran parte este gran mosaico de rocas. Esta zona de montaña se encuentra en el rango altitudinal de 1200 a 2200 m. s. n. m.

Siendo este el panorama, podemos explicar la diversidad de suelos que existen en la región:

Andisoles

A partir del contexto expuesto podemos entender por qué los andisoles ocupan una mayor extensión en la zona. Estos suelos son de gran importancia, no solo por su calidad, desde el punto de vista de los nutrientes disponibles para las plantas y los cultivos cafeteros, sino porque además son la evidencia directa de la impresionante actividad volcánica ocurrida en nuestro territorio, principalmente durante el periodo Cuaternario, que cuenta la historia de los últimos 2.5 millones de años, y especialmente de la última y actual época: el Holoceno.

Estos suelos los encontramos en el rango altitudinal comprendido entre los 600 y 3200



+ Desarrollo de andisoles en el sur de Colombia.
Fotografía de Cenicafé

m. s. n. m., y dispersos por toda el área. No obstante, su principal concentración se encuentra en inmediaciones de los municipios de Popayán, Piendamó, Caldonó, Morales y Cajibío, en el departamento del Cauca. En términos generales, cuentan con buenas condiciones físicas para el desarrollo y crecimiento de las plantas, y su estructura permite una buena aireación. Algunos minerales retienen agua en cantidades óptimas para la planta. La cantidad y calidad de nutrientes disponibles en estos suelos, por lo regular es de alto potencial, y esto se debe principalmente a la liberación de los elementos esenciales (cationes), que tiene lugar cuando los minerales que vienen de las cenizas o de las rocas comienzan su camino de alteración (meteorización). Es así como, a partir de la transformación de un mineral conocido como plagioclasa/feldespato, una planta se puede proveer del calcio necesario.

Inceptisoles

Este tipo de suelos continúa en orden de importancia en lo que respecta a la extensión. Están localizados de forma dispersa por toda la región y cubren ambos flancos del Macizo. De acuerdo con lo visto, podemos inferir que su escaso desarrollo evolutivo está estrechamente relacionado con la fuerte actividad tectónica y volcánica de la región. Su productividad es relativamente baja, dada la oferta ambiental de estos suelos, con tendencia ácida y de baja saturación de iones básicos.

Entisoles

En la zona sur de Colombia, los entisoles se encuentran presentes a modo de parches de pequeña extensión, sin ningún patrón definido, y han sido modelados en diversos tipos de rocas.

Sus características pedogenéticas son muy similares a las de los inceptisoles, por lo cual exhiben perfiles de poca horizonación (A/C o A/R) de afinidad ácida y baja fertilidad. Las alturas en esta región oscilan entre los 600 y los 1800 m. s. n. m., aproximadamente.

Molisoles

Su presencia se hace más evidente en Nariño y en la parte central del Cauca, y ocupan posiciones del relieve más estables, donde los procesos erosivos son menos intensos, lo cual permite una alta evolución pedogenética. Estos suelos se desarrollan en condiciones climáticas tropicales y se caracterizan por sus coloraciones oscuras, por tener buenos contenidos de materia orgánica, por su reacción neutra y su muy buena fertilidad, lo que los hace muy apetecidos para diversos cultivos.



Fotografía de la Federación Nacional de Cafeteros



CAPÍTULO 4

LA HUELLA DEL CAFÉ

Valentina Osorio Pérez
Cenicafé

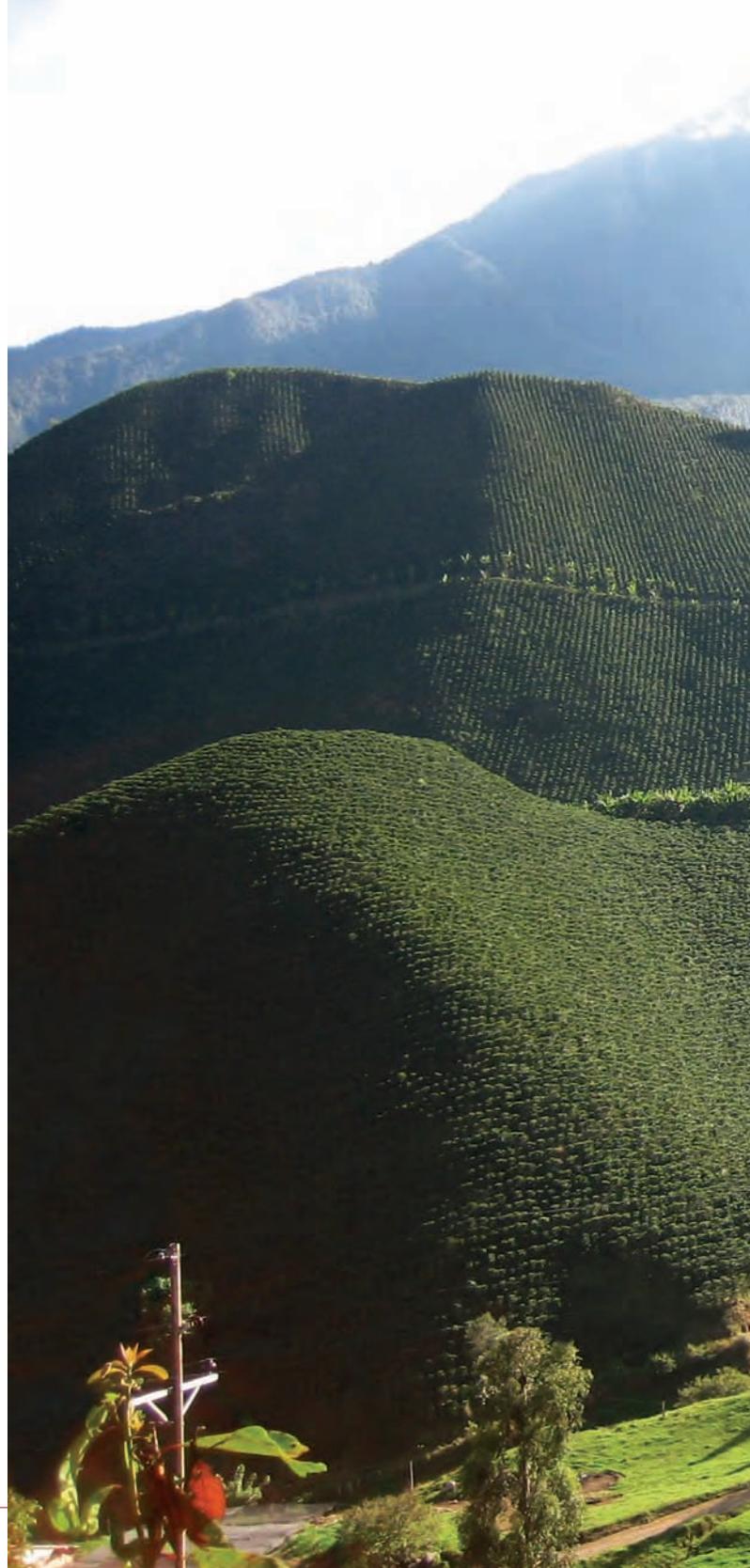
Juan Carlos Silva Tamayo
Servicio Geológico Colombiano

PAISAJE CULTURAL CAFETERO, PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD

La creación de la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural fue el primer paso para reconocer y proteger áreas geográficas donde las actividades humanas han evolucionado de forma sostenible con el medio ambiente y la naturaleza. En 1992, el Comité de Patrimonio Mundial de la Unesco adoptó una serie de lineamientos que se deben seguir para que una región sea catalogada como patrimonio cultural. Según el comité de la Unesco, un patrimonio cultural es el resultado de la combinación de procesos naturales y antrópicos que son el reflejo de la evolución ambientalmente sostenible de las sociedades a lo largo del tiempo. Dicha evolución está influida por procesos naturales que definen la adaptación social, económica y cultural del hombre a una determinada región. En este sentido, un paisaje cultural comprende una diversidad de manifestaciones e interacciones entre el hombre y el ambiente que lo rodea. Es por este motivo que los paisajes culturales son la consecuencia de un uso sostenible de la tierra, lo cual pone de presente la relación entre el ambiente natural y, en general, la naturaleza, y las manifestaciones culturales del hombre. La protección de los paisajes culturales puede contribuir al desarrollo sostenible de las regiones, resaltar las características naturales del paisaje y mejorar y preservar la diversidad biológica.

Existen tres tipos de paisajes culturales: el primero abarca parques diseñados y creados por el hombre (p. ej., jardines y parques), generalmente asociados a manifestaciones religiosas o políticas; el segundo agrupa los paisajes naturales que han evolucionado sin intervención del hombre; la tercera categoría comprende aquellos lugares donde se combinan procesos naturales y antrópicos.

Colinas típicas del paisaje cultural cafetero de Colombia.
Fotografía de la Federación Nacional de Cafeteros







+ Localización de los sitios considerados paisajes culturales y declarados por la Unesco patrimonio de la humanidad. El paisaje cultural cafetero de Colombia hace parte de los once sitios de América y el Caribe declarados patrimonio. Cabe resaltar la presencia de otro paisaje cultural cafetero en Cuba. Pintura de Karina Andrea Portilla Mendoza



+ Cultivos de café de los picos centrales. Nótese la alta pendiente donde están ubicados los cultivos. La ubicación en altas pendientes ha requerido la aplicación de técnicas centenarias de manejo de cultivos. Concordia, Antioquia. Fotografía de la Federación Nacional de Cafeteros

En la actualidad existen 102 sitios declarados por la Unesco patrimonio cultural de la humanidad, de los cuales diez están ubicados en el continente americano y en el Caribe. El Paisaje Cultural Cafetero de Colombia (PCCC) es uno de estos últimos sitios patrimoniales declarados por la Unesco. Dicha declaración fue realizada en 2011 por tratarse de un ejemplo del excepcional modo de producción de café en forma sostenible. Dicha producción se basa en tradiciones culturales ancestrales y se preocupa por la preservación del medio ambiente. A pesar de que en la mayoría de las zonas cafeteras de Colombia se siguen las

mismas directrices en la producción del grano de café más apetecido en el mundo entero, solo la región de la parte central de los picos centrales ha sido incluida en el área de influencia del paisaje cultural cafetero de Colombia. Esta región, conocida también como el *eje cafetero del viejo Caldas*, comprende dieciocho municipios enclavados en zonas medianamente montañosas, donde predominan bosques tropicales.

Las condiciones geográficas, climáticas y geológicas del territorio colombiano han hecho que los caficultores se adapten a cultivar en condiciones adversas. Mientras que el eje cafetero



+ Arquitectura típica de algunas regiones cafeteras de Colombia. Nariño.
Fotografía de la Federación Nacional de Cafeteros



⊕ Ejemplo de la integración familiar como base de la cultura cafetera. Nariño.
Fotografía de la Federación Nacional de Cafeteros

se caracteriza por tener colinas de baja inclinación, zonas cafeteras como las del occidente de Antioquia (norte de los picos centrales), las de las montañas de oriente y las de las altas cumbres del Caribe se caracterizan por ocupar pendientes

mucho más pronunciadas. Esto ha resultado en diferentes prácticas de manejo de cultivos y de relacionamiento del hombre y el ambiente.

El PCCC es un ejemplo del desarrollo centenario de la cultura cafetera, de su sostenibilidad



y de su productividad. Es también el resultado del esfuerzo colectivo de muchas generaciones de campesinos que preservan las prácticas socioeconómicas, culturales y productivas como una institución. Durante varias generaciones, los

campesinos han perfeccionado prácticas de desarrollo sostenible en armonía con la naturaleza y el medio ambiente, específicamente desarrolladas para su entorno natural.

Es por este motivo que las típicas fincas cafeteras comprenden pequeñas parcelas (áreas efectivas de cultivo) que son fácilmente manejables en un entorno montañoso, en las que se observa una arquitectura específica que sustenta una identidad cultural e institucional y un estilo de vida que permite vivir en sinergia con el medio ambiente. Estas características, que se han desarrollado a lo largo de más de cien años, hacen del eje cafetero una zona con un paisaje único en el mundo. Estas características han permitido desarrollar una cultura cafetera con manifestaciones territoriales tangibles e intangibles que constituyen un legado único para la cultura colombiana y que comprenden cocina, música, arquitectura y educación. Un ejemplo de esto son las casas típicas cafeteras, que se construyen con materiales naturales nativos y técnicas ancestrales.

La adaptación sociocultural a un paisaje único y el desarrollo de tradiciones culturales específicas aportan un alto valor agregado a la zona del eje cafetero, donde se logra una producción de café con altos estándares de calidad.

El fortalecimiento de estas características y la resistencia al cambio demuestran un alto nivel de integridad del paisaje cultural cafetero, que tiene como base la sostenibilidad del desarrollo humano. La autenticidad del paisaje cultural cafetero es producto de la adaptación de las comunidades a las condiciones climáticas, geológicas, hidrológicas y biológicas, y de un plan detallado de manejo basado en la inclusión, tanto institucional como comercial, de todos sus habitantes. El manejo del paisaje cultural cafetero también incluye la investigación y el desarrollo humano, basado en instituciones de educación primaria, media y superior, que implementan programas enfocados en el desarrollo socioeconómico y sociocultural de la región, en el contexto de adaptación y mitigación del cambio climático.

❶ PROCESO SOCIAL DERIVADO DEL DESARROLLO CAFETERO Y EL IMPACTO ECONÓMICO

El desarrollo socioeconómico de Colombia ha estado ligado a la actividad cafetera. La historia de este producto tan importante para la economía colombiana se remonta al siglo XVIII, cuando los jesuitas trajeron semillas de café a la Nueva Granada. Los primeros cultivos se localizaron en las montañas del oriente (Santander y Norte de Santander). Allí se dio la primera producción comercial, que produjo 2560 sacos de café en 1835. La expansión de las zonas cafeteras a los picos centrales (Antioquia y el viejo Caldas), a finales del siglo XVIII e inicios del XIX, permitió que a mediados de este último las exportaciones de café se afianzaran.

Esto coincidió con el gran crecimiento de la economía mundial. Durante este periodo, Estados Unidos se consolidó como el mayor consumidor americano de café colombiano, mientras Francia y Alemania se convertían en los mayores clientes europeos. La importancia económica de la industria cafetera creció en Colombia de manera significativa en los últimos treinta años del siglo XIX. En ese periodo las exportaciones pasaron de 60000 a 600000 sacos de café por año. Por entonces las regiones de Santander y Cundinamarca aglutinaban casi el 80% de la producción nacional. Este auge de las exportaciones propició la creación de grandes haciendas cafeteras en Santander, Norte de Santander, Antioquia y el viejo Caldas.

Con la llegada del siglo XX, las expectativas económicas de los caficultores estaban en su punto más alto. La expansión de las haciendas cafeteras continuó y la economía creció a tal punto que los caficultores adquirieron préstamos internacionales. Entonces se desató uno de los eventos más trágicos en la historia colombiana: la guerra de los Mil Días. Este conflicto afectó a los caficultores, quienes no pudieron cultivar y mantener sus haciendas en buenas condiciones.

Esta situación condujo a la quiebra a muchos caficultores, en especial en las zonas de Norte de Santander y Santander.

El desastre socioeconómico que dejó la Guerra de los Mil Días en la industria cafetera generó un cambio significativo en la cultura y socioeconomía relacionada con el café. Al finalizar la guerra, las grandes haciendas fueron reemplazadas por fincas cafeteras que eran manejadas por pequeños productores, quienes estaban localizados principalmente en Antioquia y el viejo Caldas. Este modelo de economía se fue expandiendo hacia el sur, a los departamentos del Valle y Tolima, gracias a la migración/colonización antioqueña. El nuevo modelo de producción de café también ayudó a disminuir el impacto de la agricultura expansiva en el medio ambiente, ya que,



la agricultura tradicional, intensiva y a pequeña escala, evitaba la degradación de los suelos.

El cambio de concepto sobre las dimensiones de los cultivos de café resultó en un mejoramiento de las condiciones de vida de las comunidades campesinas. Este cambio, sin embargo, implicaría nuevos retos para dichas comunidades. Por este motivo en 1927 fue creada la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC), que ayudó a los pequeños campesinos a mejorar procesos relacionados con la logística y comercialización de su producción. La Federación también impulsó la investigación científica sobre la industria del café, para lo cual creó, en 1938, el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Este Centro, que cumple ochenta años de funcionamiento en 2018, ha dedicado sus esfuerzos

a mejorar el bienestar del caficultor colombiano mediante la generación de tecnologías apropiadas, competitivas y sostenibles para beneficio de los caficultores colombianos. Este conocimiento ha sido la base para que Colombia se caracterice por su caficultura tecnificada, donde las altas densidades, el uso de variedades resistentes a la roya, la apropiada luminosidad y los ciclos de producción entre 5 y 7 años, resulten en cafetales sanos, con uso mínimo de productos plaguicidas que mejora las condiciones de trabajo y del propio hábitat de los caficultores, y con una adecuada protección del suelo. La tecnificación conlleva una satisfacción de los requerimientos de los clientes en cuanto al compromiso ambiental y de sostenibilidad, a la par de producir un café con un alto potencial de calidad de taza excelente.



Exportaciones de café a lo largo del Río Magdalena a principios del siglo XIX. Fotografía de la Federación Nacional de Cafeteros





CAFÉS DE ORIGEN

En los últimos años, el Gobierno colombiano y el sector privado han realizado un gran esfuerzo para implementar la denominación de origen controlada en la industria cafetera, con el objeto de resaltar las características especiales de algunos cafés colombianos. La FNC, en su Plan Estratégico 2008-2012, propuso posicionar el café de Colombia y su portafolio marcarío avanzando en la implementación de una estrategia de diferenciación de los cafés por su origen. Esta estrategia, innovadora en términos científicos y técnicos, busca segmentar la oferta de café de acuerdo con los atributos físicos, químicos, sensoriales y culturales asociados a su origen regional, de manera que los cafés de Colombia se conviertan en un referente cultural y un activo intangible de gran valor en el mercado.

En la 50.^a Asamblea del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) se aprobaron los primeros incentivos para el desarrollo de cafés con denominación de origen de Colombia. El programa destinó a este objetivo un total de 3.4 millones de dólares y tuvo como objetivo principal crear una vitrina mundial para el café colombiano basada en el posicionamiento de denominaciones de origen. De esta forma, la Federación Nacional de Cafeteros puso en marcha una serie de iniciativas que no solo contribuirían a defender y posicionar el café de Colombia, sino también a mejorar los precios del grano y la competitividad de regiones cafeteras seleccionadas, como Huila, Santander y la Sierra Nevada.

Colombia cuenta en la actualidad con veinte productos que orgullosamente llevan el sello distintivo *denominación de origen*. Estos cafés son 100% arábigos y producidos en diferentes zonas cafeteras del país (*terroirs*). Un *terroir* es una extensión geográfica bien delimitada y homogénea que presenta alguna particularidad llamativa en su producción agrícola. Actualmente, los principales *terroirs* de cafés con denominación de origen son Nariño, Santander, Cauca, Huila, paisaje cultural cafetero y Sierra Nevada. Para garantizar la sostenibilidad del café de Colombia y sus regiones se desarrollaron estudios técnicos con los cuales se logró que la Superintendencia de Industria y Comercio concediera la denominación de origen para las siguientes regiones cafeteras del país: Cauca (2011), Nariño (2011), Huila (2013), Santander (2014), Tolima (2015) y café de la Sierra Nevada (Cesar, La Guajira y Magdalena) en el año 2015.

El café de Nariño, dadas las condiciones geográficas, de suelo, luminosidad y climatológicas de dicho departamento, es uno de los más valorados en Colombia y en otros países. El café de Nariño se destaca por su alta acidez, sus notas dulces, su suavidad, su cuerpo medio, taza limpia y su aroma pronunciado.

El café del Cauca, catalogado como 100% arábigo, es de características suaves. Su cultivo, recolección y procesado tienen lugar en pequeñas parcelas. Este café se diferencia del resto de cafés de Colombia por ser muy homogéneo. Esta cualidad está relacionada con las condiciones especiales (geografía, suelo y clima) en las que se cultiva. Es un café con un aroma fuerte y acaramelado, ácido, con algunas notas dulces y florales, y un cuerpo medio.

El café de Santander se caracteriza por ser de taza limpia y presentar cuerpo medio-alto, acidez media y sabores frutales ligeramente cítricos. Su aroma está entre dulce y herbal. Estas características se dan por las condiciones del cultivo y del suelo.



➤ Diversidad étnica en la caficultura colombiana. a) y c) Indígenas Kogüi de la Sierra Nevada de Santa Marta y b) Indígenas Guambianos del Cauca. Fotografías de la Federación Nacional de Cafeteros



El grano del Huila es considerado un café arábico lavado suave con notas dulces y ácidas, de cuerpo medio-alto, con un aroma intenso y sensaciones frutales y acarameladas.

El de la Sierra Nevada es un café cultivado en un lugar que no tiene parangón en el resto del mundo. Su producción es primordialmente orgánica y se realiza en fincas donde predominan árboles nativos del neotrópico. Su sabor es fuerte e intenso. Presenta baja acidez, aroma intenso y dulce, y un cuerpo robusto de taza limpia.

El café del paisaje cultural cafetero proviene de fincas donde el café es cultivado junto con maíz, plátano y frijol. En esas fincas el café es el producto predominante, con una participación promedio del 57% de la totalidad del área cultivada de las mismas. Es un café arábico de aroma suave, con cuerpo medio-alto, taza limpia y sensaciones acarameladas.

ELEMENTOS DETERMINANTES DE LA CALIDAD DEL CAFÉ

Durante muchos años el café fue el principal producto de exportación de nuestro país, y por tanto el principal generador de divisas. Esto permitió que los productores dispusieran de los ingresos necesarios para asegurar la rentabilidad del negocio cafetero y, adicionalmente, la creación de una institucionalidad que apoyó al Estado Colombiano en la provisión de bienes públicos para garantizar el bienestar socioeconómico de la zona cafetera colombiana.

Las condiciones actuales de globalización implican una apertura de los diferentes mercados, en los que prevalecen productos que proporcionan un mayor valor agregado al cliente o consumidor final. La comercialización de café en el



+ Factores que influyen en la calidad del café.
Fuente: Cenicafé

mundo se encuentra en permanente cambio. Por ejemplo, ahora se reconocen primas adicionales, dependiendo del origen del café, sus características físico-químicas, su proceso de cultivo y beneficio y las condiciones sociales y culturales bajo las cuales es producido.

El posicionamiento de la marca Café de Colombia tiene una larga trayectoria en la historia del mercadeo de este producto, logro que se ha alcanzado mediante la diferenciación del origen del grano, lo cual promueve el acceso a primas de precio por calidad, en comparación con la producción de otros países. Lo más importante es que esta prima sobre el precio internacional se ve reflejada en un incremento de los precios internos del grano y, por tanto, en mejores ingresos para los caficultores colombianos y sus familias. En consecuencia, el reconocimiento mundial de la calidad del café colombiano no sería posible sin el firme compromiso de los productores en el estricto control de las adecuadas prácticas de cultivo, cosecha y beneficio.

La calidad del café se determina por el conjunto de características químicas, microbiológicas, físicas y organolépticas que motivan a un comprador a pagar un precio mayor por el producto, lo que representa un mejor ingreso y mayor rentabilidad para el caficultor. En este capítulo se realiza una revisión de los principales elementos que influyen en la calidad, así como de los procesos y prácticas desarrollados para garantizar dicha calidad, y se ha estructurado de la siguiente manera: i) factores ambientales, ii) variedad, iii) recolección, iv) beneficio, v) calidad de café y vi) denominaciones de origen del café de Colombia.

Colombia cuenta con características ambientales (clima y suelo) especiales y con la experiencia de los caficultores que permiten la máxima expresión de las cualidades intrínsecas del café. Estas condiciones generan los elementos necesarios para continuar con su posicionamiento en el mercado de calidad superior. Dicha calidad depende de numerosos factores, entre los cuales se destacan la especie, la variedad cultivada, las con-

diciones ambientales, las prácticas agronómicas propias de los diferentes sistemas de producción, el método de beneficio empleado, las condiciones de almacenamiento del grano, el procesamiento industrial y la preparación de la bebida.

Factores ambientales

Las zonas cafeteras de Colombia se localizan entre los 800 y 2000 m de altitud a lo largo de las tres cordilleras andinas (Occidental, Central y Oriental), además de los sistemas montañosos de la Sierra Nevada de Santa Marta y la serranía del Perijá. Las características climáticas de estas zonas tienen efectos en el crecimiento vegetativo y reproductivo del café. La precipitación anual óptima debe fluctuar entre 1200 y 1800 mm/año, y la temperatura media, entre 18 y 21 °C. Por encima o por debajo de estos límites se producen alteraciones en el crecimiento y producción del café. Por su parte, las mayores altitudes (temperaturas del aire más bajas) permiten una mejor expresión de calidad de la bebida. En Colombia, la temperatura óptima para el café se encuentra entre 18 y 22 °C; por debajo o por encima de esta temperatura tienen lugar trastornos florales. En los climas más fríos, donde la temperatura es inferior a 18 °C, las variedades de café presentan una menor tasa de crecimiento y producción, y pueden presentarse enfermedades como la muerte descendente (Phoma). En los climas más calientes, donde la temperatura es superior a 21 °C, las plantas se agotan y su vida productiva es más corta; además, el ataque de la roya es más agresivo sobre las variedades susceptibles de contraerla, como Borbón, Típica, Maragogipe y Caturra.

El suelo constituye un recurso natural que se forma con el pasar del tiempo por efecto de la interacción del material parental (roca), el clima, el relieve, la actividad de los organismos (micro, meso y macro), entre los cuales se encuentran los seres humanos. Dado que las zonas cafeteras de Colombia son diversas con respecto a estas condiciones, es posible encontrar diferentes tipos de suelos aun en la misma zona, algunos con mayor

potencial que otros en función de sus características físicas, químicas y biológicas que facilitan la nutrición y el flujo de elementos como la humedad, que son necesarios para cumplir las funciones metabólicas de la planta de café. La naturaleza del suelo se determina por sus características físicas (textura, estructura, porosidad), niveles de materia orgánica y clima. Estas características condicionan el almacenamiento de humedad y tienen relación con las características físicas del fruto. Por este motivo puede haber en una misma región, suelos con alta o baja materia orgánica, condición que determina el suministro de nutrientes como el nitrógeno, fósforo y azufre (N, P y S). La materia orgánica y las características físicas del suelo, principalmente la textura (porcentaje de arenas, limos y arcillas), la densidad aparente y la porosidad, son factores que determinan la disponibilidad hídrica, que otorga al suelo la capacidad de almacenar suficiente humedad para que las funciones fisiológicas del cultivo no se limiten, aun en temporadas de baja pluviosidad. Esto indica que las características del suelo tienen una alta incidencia en la calidad física del grano. En cuanto a las condiciones químicas del suelo, las investigaciones no han llegado a un consenso sobre el efecto en la calidad sensorial ante la carencia o abundancia de alguno de los citados nutrientes.

Variedad

En Colombia, la producción comercial del café se limita principalmente a las plantas de la especie *Coffea arabica* (café arábico) y *Coffea canephora* (café robusto). Estas dos especies se diferencian por su forma, condiciones de crecimiento y desarrollo, composición química, sabor y aroma. Las bebidas preparadas con café arábico se caracterizan por tener más acidez, cuerpo medio y un aroma afrutado, mientras que la variedad robusta es más fuerte y amarga, y contiene más cafeína. Entre los principales productores de café robusta están Brasil, Vietnam, Indonesia y Uganda. Por su parte, Colombia, Etiopía, México y Centroamérica son grandes productores de café arábigo.

En Colombia solamente se cultiva café de la especie arábica, de la que se obtiene una bebida más suave. Diferentes variedades de esta especie se adaptan a los entornos específicos de la geografía colombiana, principalmente Típica, Borbón, Maragogipe, Tabi, Caturra, la variedad Colombia y Castillo.

Cosecha

La cosecha de los frutos se hace habitualmente con el criterio práctico del color de la cereza que presenta varias tonalidades rojizas. La cosecha que se realiza en Colombia se denomina *selectiva*, puesto que se realiza de forma manual, seleccionando de manera oportuna frutos maduros; esto se logra a partir de la observación continua del lote y las labores oportunas de recolección que evitan que queden frutos en la planta y se conviertan en hospedantes de la broca (insecto que ataca el fruto).

Las variaciones en las condiciones climáticas de cada una de las zonas cafeteras colombianas afectan tanto la floración como la uniformidad de la maduración, de modo que en una misma rama es posible encontrar frutos de diferentes estados y varios grados de madurez. Por este motivo, la observación constante de los lotes por los caficultores durante la maduración del fruto permite planificar la cosecha del café cereza, cuando este se encuentre en su estado óptimo de desarrollo. Cuando en la masa se encuentran granos verdes, pintones, maduros, sobremaduros y secos, cada uno de ellos presenta una característica específica que finalmente afecta la cantidad y la calidad del producto final.

Con relación a la calidad en taza, algunos estudios han determinado que los mejores atributos sensoriales de la bebida se obtienen de frutos maduros, mientras que los verdes y pintones pueden deteriorar la calidad debido a múltiples defectos, como la astringencia, cereales y acritud. De igual manera, los frutos sobremaduros y secos originan defectos que van desde el fermento a mohos, sabores y olores extraños.



Colombia cuenta en la actualidad con veinte productos que

orgullosamente llevan el sello distintivo *denominación de origen*.

Estos cafés son 100 % arábigos y producidos en diferentes zonas cafeteras del país (*terroirs*).

Un *terroir* es una extensión geográfica bien delimitada y homogénea que presenta alguna particularidad llamativa en su producción agrícola.

Actualmente, los principales *terroirs* de cafés con denominación de origen son Nariño, Santander, Cauca, Huila, paisaje cultural cafetero y Sierra Nevada.

Beneficio

Los granos de café o semillas están contenidos en el fruto, que en estado de madurez toma tonalidades rojas y reciben el nombre de *cerezas*. Estas cerezas, por su alto contenido de agua son altamente perecederas, y por tal motivo son sometidas a un proceso denominado *beneficio*, definido como el conjunto de operaciones que se realizan para transformar el café cereza en café pergamino seco. Este proceso debe conservar la calidad exigida por las normas de comercialización y evitar pérdidas del producto.

En el mundo se reconocen básicamente tres tipos de beneficio: seco, semiseco y húmedo.

El método seco da lugar a los cafés conocidos como *café naturales*, y es el más antiguo de los métodos de transformación. Luego de que el café es recolectado, se realiza una clasificación para retirar los granos defectuosos e impurezas y posteriormente es sometido al proceso de secado. Frecuentemente la primera etapa de este secado se realiza utilizando el secado solar, en el cual el café se dispone en una capa delgada en patios y es sometido a constante movimiento para mantener la temperatura y lograr un proceso homogéneo.

El método semiseco da lugar a los cafés conocidos como *honey*. Es un proceso intermedio entre el proceso seco y húmedo. El café es despulpado, eliminando la cascara y dejando expuesto el mucílago y posteriormente es sometido

al proceso de secado. El porcentaje de mucílago presente durante el proceso define la clasificación del café en esta categoría: *black honey* (100%), *red honey* (75%) o *yellow honey* (25%). Esta clasificación tiene origen en el color del pergamino después de secado.

El método húmedo da lugar a los cafés conocidos como *lavados*, cuyo proceso es el más utilizado en Colombia. Como su nombre lo indica, este proceso involucra el uso de agua e implica la eliminación de la pulpa y el mucílago del café, así como también un lavado antes de que sea sometido al proceso de secado (solar o mecánico).

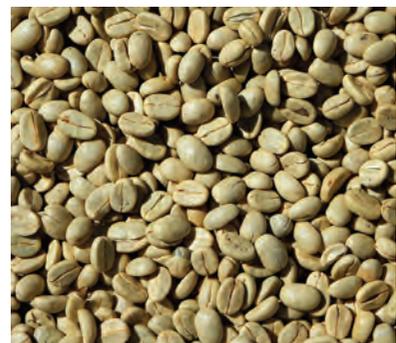
El despulpado es el primer paso del beneficio del café y consiste en retirar la pulpa de cereza por medio de la presión y fricción que ejerce el cilindro de la despulpadora contra el pechero y la camisa. El ajuste de estos componentes respecto al tamaño y madurez del grano determina la calidad del café despulpado. Esta operación debe iniciarse inmediatamente después de que se cosechen los frutos. El café con un grado óptimo de maduración contiene mucílago, baba o "miel", que permite un fácil despulpado (al presionar la cereza), lo que hace innecesario el uso de agua en esta etapa. Posteriormente, el café despulpado es clasificado en cribas o zarandas por tamaño y/o peso. Esta clasificación permitirá separar aquellos frutos verdes o pintones que no fue posible separar durante la clasificación de recolección.



Natural



Honey



Lavados



Tipos de granos de café obtenidos a partir de diferentes procesos de beneficio.
Fuente: Pixabay, Pxhere - CCO



+ Etapas del beneficio húmedo del café y su influencia en la calidad. Fotografías de Cenicafe

Después de despulpado, el café es sometido a la remoción del mucílago. El mucílago es un hidrogel de 0.4 a 2 mm de espesor que recubre el grano despulpado, y está compuesto principalmente por agua, azúcares y sustancias pécticas. Su volumen que representa aproximadamente el 22% del peso del café despulpado. La cantidad de mucílago depende en gran medida del grado de madurez del grano.

En el método de beneficio húmedo, el mucílago debe removerse mediante el proceso de fermentación natural o mecánica. La composición

química del mucílago, en combinación con las levaduras y bacterias presentes en el ambiente y en los equipos en los que se realiza el beneficio húmedo, explica la ocurrencia natural de la fermentación a temperatura ambiente, sin recurrir a inoculaciones. Durante el proceso de fermentación del mucílago, que es un proceso biológico, las enzimas producidas por las levaduras y las bacterias descomponen los azúcares contenidos en aquel. Esto ocasiona el rompimiento de la estructura y facilita su eliminación completa durante la etapa de lavado. En este proceso intervienen

numerosos factores biológicos, químicos y físicos; sin embargo, se han referenciado los principales factores que pueden incidir en su duración: temperatura del ambiente, uso de agua durante el despulpado o fermentación y el grado de madurez asociado con la cantidad del mucílago en el grano, aunque se desconoce específicamente el efecto de estas variables sobre el tiempo de finalización de la fermentación del mucílago.

En el pasado los caficultores recurrían a métodos tradicionales para determinar el punto de finalización del proceso de fermentación y de lavado del café. Los métodos más utilizados han sido el del orificio y el tacto (la observación del agujero dejado por un madero cuando es introducido en la masa de café y la sensación áspera detectada por el tacto al tomar una muestra de café y lavarla); aunque son pruebas fáciles de realizar, se consideran mediciones subjetivas del punto de lavado. La falta de controles objetivos en esta etapa tiene incidencia directa en la calidad del café. Un retraso en el tiempo de fermentación mayor a dos horas después de que el proceso ha finalizado tiene efecto directo en la aparición de defectos en taza, tales como vinagres y fermentos.

Cenicafé desarrolló un dispositivo sencillo para verificar el momento de la finalización del proceso de fermentación, cuando el café debe ser lavado. El dispositivo se llama *fermaestro*, y es un recipiente perforado en forma de cono truncado, que permite mejorar la sensibilidad a los cambios ligeros de volumen, dados por el aumento de la altura del espacio vacío en la parte superior del dispositivo. Cuando se estabiliza la altura del café en el dispositivo, significa que se ha alcanzado el punto de lavado.

El mucílago también puede ser removido por medios mecánicos, mediante el uso de agitadores que funcionan a altas velocidades y promueven roces entre los granos de café recién despulpados y las partes móviles y fijas del equipo para realizar el desprendimiento. Este proceso debe ser realizado de manera adecuada para evitar que los granos queden con restos de mucílago

que podrían continuar su proceso de fermentación durante el secado y perjudicar con defectos la calidad del café. Por el contrario, si la agitación dentro del equipo es más fuerte que la requerida, se corre el riesgo de causar daño mecánico a los granos. El desmucilaginado por medio mecánico puede verse afectado principalmente por el diámetro del rotor, la velocidad de rotación, el tipo de rotor y la viscosidad de la suspensión, que a su vez depende de la velocidad de rotación, la cantidad de agua utilizada por unidad de producto y la calidad del café en baba que entra en el equipo.

Los procesos de remoción húmeda o mecánica del mucílago son complementados con un proceso de lavado que permite retirar totalmen-



te el mucílago fermentado del grano. Este normalmente se realiza añadiendo agua limpia y filtrando en repetidas ocasiones en el tanque de fermentación o utilizando un canal de correteo. El uso de agua limpia evita defectos físicos y sensoriales como grano manchado y sabor a fermento. Para esta etapa, Cenicafé desarrolló el tanque tina, que reduce el consumo de agua, lo cual contribuye a hacer sostenible el proceso productivo del café. El lavado en el tanque tina consume menos de cinco litros de agua por cada kilogramo de café pergamino seco. El lavado del café fermentado se lleva a cabo dentro del tanque tina haciendo cuatro enjuagues; en el cuarto y último enjuague se adiciona agua hasta cinco centíme-

tros por encima de la masa de café y se agita para retirar los flotes o granos vanos. En producciones mayores puede utilizarse el canal de correteo, el canal semisumergido o el hidrociclón, dispositivo que permite disminuir el consumo de agua.

Una vez terminado el proceso de lavado y la remoción total del mucílago, los granos de café son secados. Este proceso, que tiene como objetivo la eliminación de agua del grano de café, logra la conservación y la estabilidad del mismo durante su almacenamiento y comercialización. Es importante resaltar que el punto de equilibrio corresponde a 12% de contenido de humedad; el café con humedad mayor a 12.5% (actividad de agua superior a 0.67) puede causar pérdida de calidad del grano al producir calentamiento de la masa y generar focos de hongos e insectos.

La temperatura del aire de secado tiene influencia significativa en la calidad del grano: temperaturas excesivamente altas ocasionan defectos como la cristalización del grano. Los granos que van a ser utilizados como semillas deben conservar un alto porcentaje de germinación (las altas temperaturas matan el germen). Para garantizar la viabilidad de las semillas se recomienda no dejar que la temperatura del grano sobrepase los 38 °C durante el secado. Asimismo, con el fin de asegurar una buena calidad, se recomienda no secar los granos a temperaturas superiores a los 50 °C.

En Colombia, el proceso de secado se efectúa de dos maneras: secado al sol y por medios mecánicos, utilizando silos de capa estática, principalmente. El secado natural o al sol consiste en disponer los granos húmedos sobre superficies que permitan su interacción directa con la energía proveniente del sol y del aire. Este tipo de secado permite obtener un producto final con una humedad muy uniforme a bajo costo. Las estructuras más utilizadas para este tipo de secado son los patios, elbas, carros y secadores parabólicos.







tienen incidencia directa en la duración de este tipo de secado: la radiación solar, la temperatura, la humedad del aire, el contenido de humedad del grano, el tipo de material del secador, el espesor de la capa, el procedimiento y periodicidad utilizados para revolver los granos. Por tal motivo no es posible establecer tiempos fijos de finalización del mismo.

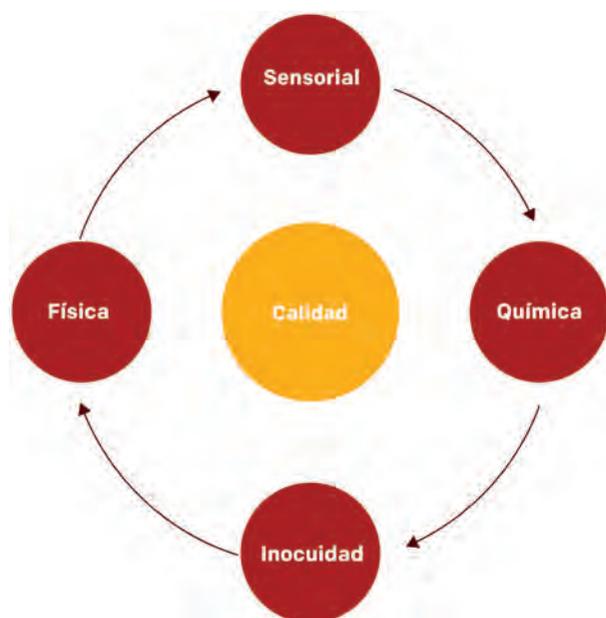
El secado mecánico en capas estáticas consiste en hacer pasar a través de una capa estática de café un volumen de aire determinado, impulsado por un ventilador y calentado en forma indirecta a una temperatura no mayor a 50 °C. La capa de secado debe tener máximo 40 cm y estar nivelada, y el flujo de aire debe intercambiarse cada seis horas para garantizar una mayor uniformidad en el secado. El cálculo de la cantidad de aire que debe circular por el espacio intergranular es muy importante, pues de él depende la transferencia de calor necesaria para producir la evaporación y retirar el vapor de agua de los granos.

0 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL CAFÉ

Para evaluar la calidad de un producto es necesario conocer las propiedades y cualidades que permiten clasificarlo según los parámetros de calidad, así como los defectos o características no aceptables para el consumo. El análisis físico y sensorial del café permite determinar las principales características de la calidad del café, que comprenden los granos negros, vinagres, flojos, aplastados y excelsos, entre otros, y características sensoriales como el aroma, cuerpo y acidez.

La calidad física del café se establece mediante un examen visual, a partir del cual se realiza una valoración de los defectos del café verde, así como la evaluación de su aspecto general. Por lo regular se define la cantidad de almendra sana libre de granos que no cumplen con los requisitos exigidos por los cafés tipo exportación.

En Colombia se cuenta con dos formas de valoración de la calidad física del café que se va a comprar: ya sea por el porcentaje de almendra sana o por factor de rendimiento en trilla. El precio del café obtenido en la comercialización depende de la calidad del café que se lleve al punto de compra.



Los aspectos más importantes evaluados relativos a la calidad física del café son los siguientes:

- **Porcentaje de humedad:** debe estar en el rango de 10 a 12%.
- **Porcentaje de almendra sana:** el porcentaje de almendra sana es la cantidad de granos sanos, sin ningún defecto presente en una cantidad determinada de café.
- **Factor de rendimiento en trilla:** es la cantidad de café pergamino seco que se necesita para obtener un saco de 70 kilos de café excelso.

Actualmente, en el país el promedio del factor de rendimiento es de 92.8 kilos de café pergamino seco para obtener 70 kilos de café excelso. Lo restante, corresponde a cisco y defectos.



+ Factores de rendimiento del café.
Fuente: Cenicafé

Defectos físicos del café

En la siguiente tabla se presentan las descripciones de los defectos físicos del café, su definición y sus posibles causas.

NOMBRE DEL DEFECTO	CAUSAS	MUESTRA
Negro	Causado principalmente por sobrefermentación de granos verdes, otra causa es sequía, recolección de cerezas del suelo, enfermedades (hongos). El oscurecimiento del grano se debe a la sobrefermentación de los pigmentos asociada a la actividad microbial.	
Vinagre	Agrícolas y beneficio. El grano vinagre se produce por fermentación, que es el resultado de contaminación microbial en varias etapas del proceso de beneficio. Causas específicas: recoger cerezas sobremaduras, cerezas del suelo, contaminación de aguas durante el proceso de lavado.	
Daño por hongos o cardenillo	Son causados principalmente por hongos que infectan el grano en cualquier etapa del proceso desde la recolección hasta el almacenamiento. Condiciones adversas de temperatura y humedad facilitan la propagación de hongos.	
Cereza seca	Beneficio. Es el resultado de un deficiente proceso de despulpado y de eliminación de los flotes; falta de mantenimiento o mal ajuste de maquinaria. Agrícola: sequía o enfermedades pueden causar que la fruta o cereza se seque en el árbol y caiga al suelo.	
Dañado por insectos (brocado)	La Broca (<i>Hypothenemus hampei</i>) perfora la cereza aún en el árbol, formando túneles en la blanda semilla, con el fin de reproducirse en su interior. La incidencia de la broca tiende a disminuir a mayor altura del cultivo.	
Grano partido, mordido, cortado	Granos partidos, mordidos o cortados, generalmente durante los procesos de despulpado, y trilla, por mal ajuste o calibración de los equipos, que causan excesiva fricción o presión al grano.	
Grano inmaduro	El grano inmaduro, no ha madurado correctamente debido a varios factores que incluyen: una recolección de granos verdes o inmaduros, una maduración irregular en variedades de maduración tardía cultivadas en gran altura, falta de fertilización y cuidados del cultivo.	
Grano averanado	Agrícolas. El grano averanado o arrugado se debe principalmente por falta de agua o sequía durante el desarrollo del grano. La intensidad del daño depende de la duración e intensidad del verano o sequía.	
Concha	Agrícolas. Este defecto se debe a factores genéticos del árbol.	
Flotador (blanco de baja densidad)	Beneficio: este defecto es causado principalmente por mal secado del café o deficientes condiciones de almacenamiento. Granos de pergamino dejados en los rincones de los patios o secadoras, generalmente se blanquean y pierden color y peso. Café pergamino mal secado o almacenado en condiciones extremadamente húmedas, puede también causar granos flotadores.	

Calidad sensorial del café

El análisis sensorial, es decir, el estudio de aquellas propiedades de los alimentos que afectan los órganos de los sentidos, es hasta ahora el método más eficiente para evaluar la calidad del café. Las características de color, aspecto, olor y sabor de los alimentos estimulan la visión, el olfato, el tacto y el gusto produciendo estímulos que van al cerebro, donde ocurre la percepción o correlación de impresiones sensoriales, que se convierte en un juicio por medio del cual se determina si un producto es aceptado o rechazado.

El análisis sensorial del café o cata tiene los siguientes objetivos:

1. Definir si el café tiene defectos o sabores desagradables
2. Describir los atributos y los sabores agradables
3. Evaluar su intensidad
4. Decidir si el café es malo, regular, promedio, bueno, muy bueno o sobresaliente
5. Informar sobre los resultados obtenidos

Atributos sensoriales del café

- **Fragancia/aroma:** los aspectos aromáticos incluyen la fragancia (definida como el olor

del café de la muestra molida cuando todavía está seca), y el aroma (olor del café mezclado con agua caliente).

- **Sabor:** es la característica principal de café, y consiste en una impresión combinada del sabor y el aroma.
- **Sabor residual:** se define como la duración de las cualidades positivas del sabor que se perciben en la parte posterior del paladar.
- **Acidez:** se describe como aquella sensación en la lengua que hace salivar. A menudo se describe como “brillante”, cuando es favorable, y “agria”, cuando es desfavorable.
- **Cuerpo:** esta calidad se basa en la sensación de pesadez del líquido en la boca, especialmente como se percibe entre la lengua y el paladar.
- **Balance (o equilibrio):** como los otros aspectos del sabor (sabor residual, acidez, cuerpo de la muestra) trabajan juntos y se complementan, o se contrastan uno al otro, lo resultante es el balance.

Defectos sensoriales del café

Los defectos son los sabores negativos que hacen que una muestra de café sea rechazada. En la siguiente tabla se presentan las descripciones de los defectos en el sabor del café.



GRUPO	DEFECTO	DEFINICIÓN NTC 2758
Sobrefermentado	Pulpa	Aroma y sabor que da en la bebida un gusto a fruto sobremaduro y que evoca el aroma de la pulpa fresca.
	Vinagre	Sensación olfativa y gustativa diferente a la de la acidez natural, caracterizada por la descomposición intermedia a ácido acético, generalmente ocasionada por una fermentación excesiva.
	Fermento	Sensación olfativa y gustativa a materia orgánica descompuesta, indeseable en el café. Producido en la sobrefermentación enzimática de compuestos orgánicos durante el beneficio.
	Stinker	Sensación de aroma y sabor fuerte y defectuoso a materia orgánica putrefacta. Se debe a una excesiva sobrefermentación de las cerezas o a deficientes condiciones de su beneficio.
Acre-áspero	Acre	Sensación olfativa y gustativa áspera, amarga, astringente, picante y pesada. Suele estar asociada a la presencia de granos defectuosos, especialmente negros.
	Áspero	Sensación táctil fuerte, rasposa o tosca indeseable, en el café, causada por presencia de granos defectuosos.
	Inmaduro	Percepción de aroma y sabor que puede ser ocasionada por la presencia de frutos de café verdes y pintones que producen infusiones astringentes.
Sucio-terroso	Sucio	Sensación de aroma y sabor asociada a polvo, pesada en el paladar e indeseable en el café. Se debe a deficiencias de la limpieza en el beneficio o almacenamiento del café verde y pergamino.
	Paja	Sensación de aroma y sabor característico a hierba o grama seca o heno. Puede presentarse en cafés frescos deficientemente secados.
	Mohoso	Aroma y sabor característico a moho, indeseable en el café, cuya causa es el inadecuado manejo de la humedad durante el beneficio, en especial en el secado del café y durante su almacenamiento.
	Terroso	Aroma y sabor a tierra húmeda o recién movida, indeseable en los cafés arábigos. En algunos casos se asocia al hollejo de la papa. Esta característica se puede presentar por un secado inadecuado del café sobre la tierra durante el beneficio.
	Reposo	Sabor y aroma característicos del café verde que, debido al tiempo o a condiciones de almacenamiento, han hecho que las características de aroma y sabor, especialmente la acidez, hayan disminuido. En el café fresco, esta característica se considera un defecto.
	Humo	Sensación olfativa asociada a la presencia de humo que se impregna en el café en cualquier etapa.
Contaminado	Combustible	Característica que presenta el café por contaminación con derivados del petróleo, como ACPM o gasolina, durante su beneficio, transporte, almacenamiento o torrefacción.
	Fenol	Aroma y principalmente sabores indeseables en el café asociados a compuestos halogenados (como cloro y yodo). Se puede generar durante el beneficio por lavado con aguas cloradas o con residuos de desinfectantes o por rehumedecimiento del café durante el secado.
	Metálico	Sensación gustativa similar a la que toma el agua en contacto directo con superficies metálicas recién pulidas, indeseable en el café. Puede presentarse por el agua o los recipientes utilizados en la preparación de la bebida.
	Químico	Aroma y sabor a compuestos químicos medicinales o desinfectantes, característicos de los hospitales, e indeseables en el café. Se pueden presentar en cafés muy tostados.
	Contaminado	Característica de sabor o aroma indeseables en el café que no se puede definir.



+ Máquina tostadora de café.
Fuente: Flickr - CCO

Tostión del café

La tostión es la operación en la cual el café es sometido a diferentes temperaturas, por distintos lapsos de tiempo, debido a lo cual se producen diversos cambios químicos y físicos fundamentales en su estructura y composición. Estos cambios son en gran parte los responsables del aroma y el sabor característico del café. Dependiendo de las diferentes combinaciones que se puedan dar de las variables anteriormente descritas, a partir de una misma materia prima, la bebida de café resultante será diferente desde el punto de vista físico-químico y sensorial.

La tostión del café se realiza normalmente en rangos de temperaturas que oscilan entre los 180 y los 220 °C. Dependiendo de la duración de la tostión, el grano de café sufre cambios relevantes, como aumento de volumen y modificación de su estructura, textura, color, pérdida de peso y

formación de aproximadamente 800 nuevas sustancias responsables del aroma y sabor del café.

En la literatura asociada a la determinación del punto final de la tostión, con relación al desarrollo óptimo de los compuestos químicos y la calidad, las variables más comunes que deben controlarse son el tiempo, la pérdida de peso y las diversas mediciones de color (Agtron, luminosidad).

Molienda y preparación del café

El principal objetivo de la molienda es la fragmentación del grano tostado para crear un área de contacto lo suficientemente amplia para que el agua caliente pueda penetrar fácilmente todo el lecho del café, con el propósito de lograr la extracción de aromas y compuestos solubles durante la preparación de la bebida.

Para realizar una molienda homogénea, el café debe presentar una consistencia dura y quebradiza, puesto que un contenido de humedad en el café tostado por encima del 5% ocasiona pérdida de fragilidad.

Según el tiempo en que el agua y el café estén en contacto, se debe utilizar una molienda adecuada que garantice la extracción correcta. Los equipos de preparación, de acuerdo con su principio de funcionamiento, se toman diferentes tiempos para preparar la bebida. Cuanto más gruesa sea la molienda, debe haber más tiempo de contacto de agua y café. La molienda gruesa debe emplearse para preparar la bebida en sistemas



+ Café en grano y molido.
Fuente: Pixabay - CCO

en los que el tiempo de contacto de agua y café varíe entre seis y nueve minutos, como el método de la olla, cafeteras de pistón y percoladores. La molienda media debe utilizarse en sistemas con tiempos de preparación que duren entre cuatro y seis minutos, como en las cafeteras de goteo, grecas y métodos en los que se usen coladores de tela o filtros de papel. La molienda fina debe emplearse en preparaciones con tiempo de contacto menor a cuatro minutos, como máquinas Espresso domésticas o institucionales.

Idealmente, el lecho granular deberá estar compuesto de partículas de café iguales en forma y tamaño, y, además, con las características adecuadas al proceso de extracción usado. Cuanto más alejado esté el lecho real del lecho ideal, la calidad de la bebida estará más alejada de la calidad ideal.



➤ Máquinas para elaborar café. a. Cafetera de pistón. b. Percoladores. c. Máquina de Espresso.
Fuente: A. Pixabay, B. Flickr

GLOSARIO

Absorción. Movimiento de iones y agua en el interior de las raíces de las plantas.

Acidez de la bebida del café. Sensación gustativa básica que se percibe principalmente en la parte lateral de la lengua, producida por los ácidos del café. Característica natural, especialmente en la variedad arábica, deseable, intensa, fina y placentera, pero no punzante. Es erróneo utilizarlo como sinónimo de agrio.

Acidificación oceánica. Proceso mediante el cual el agua de mar baja su pH. Esta disminución se debe al incremento del CO₂ disuelto en el mar. La acidificación oceánica afecta (disuelve) las conchas de los organismos que producen carbonato de calcio.

Acre. Sensación olfativa y gustativa áspera, amarga, astringente, picante y pesada. Suele estar asociada a la presencia de granos defectuosos, especialmente negros.

Actividad tectónica. Este término se refiere a las fuerzas generadas en el interior de la Tierra que causan la aparición de cadenas montañosas y cuencas oceánicas y continentales. La actividad tectónica también es la responsable de la deformación de las rocas y de la sismicidad de la Tierra.

Agglutinación (continentes). Proceso mediante el cual los continentes se unen. Es el resultado del movimiento de las placas tectónicas a lo largo del tiempo.

Agropecuario. Término que se relaciona con las actividades humanas agrícolas y pecuarias.

Agua potable. Agua apta para consumo humano. Como tal, debe cumplir todos los parámetros físico-químicos dispuestos por la ley.

Agua primigenia. Aguas muy antiguas que existieron durante el proceso de formación de la Tierra.

Análisis físico de café pergamino seco. Examen visual que incluye la valoración de los defectos del café verde, los porcentajes de humedad, de merma y de café sano, así como la evaluación de su aspecto general.

Análisis sensorial del café. Técnica reproducible para identificar, cuantificar y describir las características de un producto y determinar su calidad sensorial. Este es un método que permite evaluar tanto individual como integralmente las características sensoriales del café y las relaciones entre ellas, con el objeto de obtener la mayor información posible de una muestra.

Andesita. Roca volcánica fino-cristalina. Contiene minerales como plagioclasa feldespato y minerales de hierro (anfíboles y piroxenos).

Aniones. Átomos o moléculas (grupos de átomos) de carga negativa (presentan más electrones que protones).

Arcilla. Partícula unitaria de suelo con diámetro menor a 0.002 mm.

Arenisca. Roca sedimentaria cuyos componentes (granos) son minerales de composición generalmente silíceo. Presentan tamaños de grano entre 0.06mm y 2 mm.

Arvenses. Plantas silvestres o maleza, que interfieren con el cultivo, afectando negativamente el sistema.

Astenósfera. Región de la parte interna de la Tierra que está por debajo de la litósfera y presenta un comportamiento plástico. Se la considera parte del manto de la Tierra.

Astringencia. Sensación táctil no deseable en el café suave, producida por sustancias polifenólicas como taninos, que causan constricción, fruncimiento y resequeidad en la mucosa de la cavidad bucal. Se puede presentar en el café por la presencia de granos inmaduros.

Avalancha. Masas de roca, tierra o hielo que se desplazan sobre la superficie terrestre a causa de la fuerza de gravedad.

Bacteria. Organismo microscópico unicelular (compuesto de una sola célula). Las bacterias fueron las primeras formas de vida existentes en nuestro planeta.

Basalto. Roca ígnea volcánica fino-cristalina compuesta principalmente de minerales ricos en hierro y magnesio (olivino, piroxeno, hornblenda).

Batolito. Roca ígnea intrusiva (granito, granodiorita, diorita) que tiene un área en superficie de más de 100 km².

Biomasa. Es la cantidad de material biológico disponible en el sistema Tierra.

Cafeína: Alcaloide del grupo de las xantinas, sólido, cristalino, blanco y de sabor amargo. Es un estimulante del sistema nervioso central que produce un efecto temporal de restauración del nivel de alerta y eliminación de la somnolencia.

Calentamiento global. Proceso mediante el cual las temperaturas medias de la Tierra se elevan. En el pasado geológico el calentamiento global ha estado asociado a periodos de alto vulcanismo, en los cuales hubo grandes aportes de gases de efecto invernadero (CO₂) a la atmósfera. En la actualidad las actividades humanas son la principal fuente de gases efecto invernadero; por tanto, estas actividades son la principal causa del calentamiento global que afecta a la Tierra hoy en día.

Canal de correteo. Son estructuras en forma recta o curva que permiten lavar y clasificar el café mediante la agitación del café con una paleta para crear ondas con el objeto de arrastrar los flotes y los granos de menor densidad.

Capas rojas. Rocas sedimentarias, generalmente areniscas y lutitas, de color rojo. La coloración roja de estos sedimentos es aportada por

óxidos de hierro. Estas rocas son asociadas a periodos de calentamiento y clima seco.

Carbonato. Mineral cuyo principal componente es un catión (Ca, Zn, Fe, Mg, Mn) y el ion carbonato (CO₃). El carbonato de calcio tiene dos formas cristalinas, *i. e.*, calcita y aragonito. El carbonato de hierro se llama siderita, la de magnesio se llama magnetita, la de Zinc, smithsonita, la de manganeso se llama rodocrosita. Los carbonatos pueden ser generados biológicamente (conchas de fósiles) o ser precipitados inorgánicamente. Algunos carbonatos se forman a partir de la precipitación (cristalización) mediada por bacterias.

Carbonífero. En minería y geología se denomina así a los depósitos sedimentarios ricos en carbón. En geología el término se refiere al periodo de tiempo geológico comprendido entre 359 y 323.2 millones de años (Ma).

Cartografía. Actividad mediante la cual se construyen mapas geográficos, geológicos, biológicos, demográficos, urbanísticos, etc.

Cationes. Átomos o moléculas (grupos de átomos) de carga positiva (presentan más protones que electrones).

Cementación. Proceso mediante el cual un sedimento se convierte en roca sedimentaria. La cementación es producida por la precipitación de un mineral o grupo de

minerales en los espacios vacíos de los sedimentos.

Cenozoico. Era del tiempo geológico comprendida entre 66 millones de años y el presente.

Cereal. Sensación de aroma y sabor a cereales crudos o tostados, o malta, asociado a cafés con puntos de torrefacción bajos o a la presencia de granos inmaduros.

Cribas o zarandas. Son clasificadores de los granos despulpados que se ubican después de la despulpadora. También pueden utilizarse para seleccionar el café pergamino seco. Pueden ser planas o cilíndricas.

Chert. Roca sedimentaria rica en sílice. El sílice (SiO₂) puede ser de origen animal (diatomeas o radiolarios), o puede ser precipitado a partir de la supersaturación de sílice en el agua de mar y de lagos.

Cianobacterias. Son bacterias capaces de realizar fotosíntesis.

Circón. Mineral compuesto por circonio (Zr) y sílice en forma de silicato (SiO₄). Su fórmula química es ZrSiO₄. Es un mineral altamente refractario, y por tanto, resistente a procesos como meteorización química y física.

Colada (volcánica). Manto de lava fluida emitido por los volcanes durante sus erupciones.

Coluviales (depósitos). Masa de materiales heterogéneos compuesta de fragmentos de roca y

suelo que están dispuestos caóticamente y que se acumulan en los pies de las laderas de las montañas, por acción de la gravedad.

Compactación. Proceso mediante el cual un sedimento o una roca pierde volumen y se vuelve más rígido/competente. La compactación puede ocurrir por sobrecarga de sedimentos o por enterramiento de los sedimentos y rocas por parte de la tectónica.

Condensación. Proceso mediante el cual un gas se convierte en líquido.

Conglomerado. Roca sedimentaria compuesta por fragmentos de minerales o rocas de variados tamaños, generalmente más grandes de 2 mm. Los conglomerados con fragmentos con composiciones mineralógicas similares se llaman oligomícticos, y aquellos que presentan composiciones diferentes se llaman policimícticos.

Corteza terrestre. Es la parte sólida más externa de la geósfera. La geósfera es rígida y está compuesta por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. La corteza se encuentra sobre el manto, que tiene un comportamiento mixto: rígido y plástico.

Cretácico. Periodo del tiempo geológico. Hace parte de la era Mesozoica y del eón Fanerozoico. Este periodo está comprendido entre los 145 y los 66 Ma.

Cristalización. Proceso mediante el cual cristales de minerales se

forman a partir de un líquido. La cristalización puede ocurrir a altas presiones y temperaturas y formar rocas ígneas. También puede ocurrir a temperatura ambiente y crear rocas sedimentarias químicas (carbonatos y evaporitas).

Cuaternario. Periodo del tiempo geológico perteneciente a la era Cenozoica y al eón Fanerozoico. Comprende el espacio de tiempo entre 2.58 Ma y el presente.

Cuerpo de la bebida del café. Sensación de textura y gusto asociada a la consistencia, el carácter y la fuerza de la bebida, que da la impresión de llenura en la boca. Se debe a la presencia de sólidos solubles o insolubles, aceites, grasas, fibras, proteínas y coloides de la bebida que a la vez contienen o transportan compuestos que dan sabor y aroma al café.

Dacita. Roca ígnea volcánica compuesta de feldespato, cuarzo, biotita y hornblenda.

Delta. Geoforma asociada a un depósito sedimentario que se forma con la llegada de los sedimentos de un río al mar.

Depósito sedimentario. Acumulación de partículas (minerales, rocas, restos de animales y plantas) en la superficie terrestre después de ser transportados por el agua o el viento.

Deslizamiento. Proceso de movimiento de material (roca y suelo) de las laderas de las montañas.

Desoxigenación oceánica. Proceso a partir del cual los niveles de oxígeno disuelto en el agua de mar disminuyen.

Despulpado. Operación que consiste en retirar la pulpa de la cereza del café por medio de la presión y fricción que ejerce el cilindro de la despulpadora contra el pechero y la camisa.

Devónico. Periodo del tiempo geológico entre 419 y 358 Ma. Este periodo hace parte de la era Paleozoica y del eón Fanerozoico.

Diorita. Roca ígnea plutónica que cristaliza en subsuperficie y está compuesta por feldespato, cuarzo y minerales de hierro (hornblenda, biotita)

Dulzor. Sensación básica olfativa y gustativa, percibida ante todo en las papilas fungiformes de la punta de la lengua. El dulzor se percibe como una plenitud agradable del sabor, así como algún dulzor obvio, y su percepción es el resultado de la presencia de ciertos carbohidratos. Sensación suave, agradable, limpia en la bebida de café.

Edafología. Rama de las ciencias naturales que estudia los suelos.

Efecto invernadero. Término utilizado para explicar cómo las acumulaciones de diferentes gases en la atmósfera terrestre atrapan la radiación del sol reflejada por la superficie terrestre y concentran el calor en la misma.

Endógeno. Proceso que ocurre en el interior de la geósfera.

Eón. Es la división más larga del tiempo geológico. Existen dos eones: el precámbrico, que va desde la formación de la Tierra (hace 4600 millones de años) hasta hace 541 Ma, y el Fanerozoico, que va desde 541 Ma hasta el presente. El Fanerozoico es el eón en el que la vida multicelular es más abundante.

Era geológica. Subdivisión de la escala del tiempo geológico que divide un eón.

Erosión. Proceso mediante el cual los materiales que componen la corteza terrestre son disgregados y compuestos a disposición para ser transportados por diversos factores, p. ej., transporte por gravedad, transporte acuático o eólico.

Esquisto. Roca metamórfica que se caracteriza por tener sus minerales dispuestos en forma de lájas (esquistosidad). Los minerales en los esquistos son generalmente alargados y planos. Algunos minerales típicos de los esquistos son micas, talco, grafito, anfíbol y cuarzo, entre otros.

Evaporación. Proceso mediante el cual un líquido pasa a vapor. La evaporación es el proceso principal a partir del cual las evaporitas (rocas sedimentarias) se forman.

Evaporita. Roca sedimentaria química resultante del proceso de evaporación de agua de mar o de lagos.

En el proceso de formación de las evaporitas, a medida que el agua del mar o de los lagos se evapora, éstas quedan enriquecidas en diferentes iones, que se van precipitando de acuerdo a su saturación. La cadena de precipitación más común es carbonatos-sulfatos-halitas/cloritas.

Extinción en masa. Proceso caracterizado por la pérdida de biodiversidad (pérdida de especies animales o vegetales).

Facolito. Roca ígnea plutónica cuyas dimensiones en superficie oscilan entre 1 y 2 km².

Falla. Es una fractura que se da en la corteza terrestre, y a partir de la cual se mueven fragmentos de la misma por causa de esfuerzos compresivos o distensivos.

Fertilidad. Es la característica que tienen los suelos para sostener la vida. Suelos fértiles son aquellos que tienen los nutrientes necesarios para soportar la vida, y por lo general son los más adecuados para la agricultura. Los suelos infértiles son pobres en nutrientes.

Fertilización. Aplicación de fertilizantes con el fin de proporcionar nutrientes a las plantas.

Filita. Roca metamórfica que se caracteriza por tener sus minerales dispuestos en forma de lájas (esquistosidad). Las lájas de las filitas son más finas que las de los esquistos. Similares a los esquistos, los minerales en las filitas son

generalmente alargados y planos. Algunos minerales típicos de las filitas son micas, talco, grafito, anfíbol y cuarzo, entre otros.

Fitoplancton. Son microalgas que tienen funcionamiento fotosintético, y por lo tanto necesitan la luz para vivir y cumplir sus funciones metabólicas. Durante la fotosíntesis, el fitoplancton absorbe CO₂ y libera oxígeno. Por este motivo son importantes en la regulación de las condiciones físico-químicas del océano y de la atmósfera. El fitoplancton es también la base de la cadena alimenticia, tanto en el mar como en los lagos.

Fluvial. Este término se refiere a procesos asociados a los ríos.

Fotosíntesis. Proceso mediante el cual algunos organismos fotosintéticos toman la energía necesaria para realizar sus funciones metabólicas. Durante la fotosíntesis, los organismos fotosintéticos absorben carbón, lo convierten en carbohidratos y liberan oxígeno.

Fractura. Zona de debilidad de una roca. Puede ser causada por fuerzas tectónicas, por la acción del transporte o de procesos de meteorización química (calentamiento y enfriamiento de rocas en desiertos).

Fragancia. Característica percibida por el sentido del olfato tanto en calidad como en intensidad. Es producida por compuestos volátiles del café sin adición de agua. Mediante la fragancia se pueden

detectar atributos, defectos o notas particulares del café.

Gabro. Roca ígnea plutónica intrusiva compuesta de plagioclasa y piroxeno (mineral de hierro). Esta roca se encuentra comúnmente en la parte más profunda de la corteza terrestre o en áreas donde la producción y cristalización del magma están asociadas a cuencas oceánicas.

Glaciar. Masa de hielo rígida que se forma a partir de la acumulación de nieve durante un periodo largo de tiempo. Los glaciares generalmente se encuentran en las zonas continentales.

Gneis. Roca metamórfica que presenta bandeamiento. El bandeamiento se produce por la orientación de los minerales. A diferencia de la filita y los esquistos, esta roca no es fisible y puede tener minerales de diferentes tamaños.

Granito. Roca ígnea plutónica intrusiva compuesta de hornblenda, biotita, cuarzo, feldespato y plagioclasa.

Granodiorita. Roca ígnea plutónica intrusiva cuya composición es intermedia entre el granito y la diorita.

Hidrocarburos no convencionales. Los sistemas petrolíferos tienen dos partes: roca generadora y roca acumuladora. Las rocas generadoras son por lo general fino-granulares, poco porosas, poco permeables y ricas en materia orgánica. Durante el proceso de maduración

de la roca, la materia orgánica es convertida en hidrocarburo o gas. Estos últimos elementos migran hacia una roca más porosa y más permeable, donde se acumulan (roca acumuladora/reservorio convencional). Los hidrocarburos no convencionales son aquellos que se extraen de la roca generadora.

Horizonte de suelo. Conjunto de capas generalmente paralelas entre sí, que son el producto de los diferentes procesos formadores del suelo.

Iceberg. Masa de hielo desprendida de un glaciar que flota en un cuerpo acuoso (mar o lago).

Ignimbrita. Roca ígnea volcánica efusiva compuesta de material particulado que es transportada en suspensión por el aire después de una erupción volcánica.

Intensidad. Cantidad y fuerza de los atributos de aroma y sabor presentes en la bebida de café.

Intrusivo. Cuerpo ígneo que atraviesa otra roca durante su proceso de migración y cristalización.

Iones. Átomo o molécula (grupo de átomos) cargados eléctricamente.

Jurásico. Periodo del tiempo geológico que comprende el lapso de tiempo entre 201 y 145 Ma

Lacolito. Cuerpo ígneo plutónico intrusivo que ha sido inyectado a lo largo de la superficie (plano de es-

tratificación) que separa dos rocas sedimentarias.

Lahar. Mezcla de rocas, suelo y agua que fluye a lo largo de las vertientes de las montañas desde un volcán hasta un valle. La mezcla del lahar puede ser caliente o fría.

Lava. Nombre que se da al magma que llega a la superficie. La lava generalmente está asociada al surgimiento de volcanes.

Levaduras. Organismos eucariotas clasificados como hongos, ya sean ascomicetos o basidiomicetos microscópicos, con forma unicelular. Son importantes por su capacidad para realizar la descomposición de diversos compuestos orgánicos, principalmente los azúcares o carbohidratos, mediante fermentación.

Litificación. Proceso mediante el cual un sedimento es transformado en roca sedimentaria. La litificación es un sinónimo de la cementación.

Litoral. Área geográfica emergida ubicada a lo largo de la zona donde interactúan el mar y el continente.

Litósfera. Término para referirse a la corteza terrestre.

Lixiviación. Proceso mediante el cual las rocas y los minerales pierden iones por acción del agua u otro líquido.

Lodolita. Roca sedimentaria con tamaños de grano por debajo de 0.06 mm.

Lopolito. Cuerpo ígneo plutónico intrusivo que ha sido inyectado a lo largo de la superficie (plano de estratificación) que separa dos rocas sedimentarias. El lopolito se diferencia del lacolito por su forma de cubeta.

Lutita. Roca sedimentaria con tamaños de grano por debajo de 0.015 mm.

Maduración del fruto. Conjunto de procesos de desarrollo y cambios por el cual los frutos alcanzan una serie de características físico-químicas como color, textura, aroma y sabor, que los definen como aptos para su consumo o para ser sometidos a procesos poscosecha.

Magma. Material líquido que se encuentra en subsuperficie, a partir del cual se forman las rocas ígneas.

Manto. Parte de la geósfera que se encuentra por debajo de la corteza terrestre. Comprende la astenósfera y la mesósfera.

Material parental. Corresponde a los materiales alterados de las rocas producto de la meteorización o de sedimentos no consolidados de cualquier origen (depósitos de ríos, cenizas volcánicas, etc.).

Mesoproterozoico. Era del tiempo geológico que comprende el lapso de tiempo entre 1600 y 1000 Ma. Es una de las subdivisiones del eón Proterozoico/Precámbrico.

Mesósfera. Parte más profunda del manto. Se encuentra por debajo de la astenósfera y tiene alta viscosidad.

Metalogénico. Proceso por medio del cual se producen los metales en el interior de la Tierra.

Metasedimentaria. Roca sedimentaria que ha sido sometida de forma parcial a procesos metamórficos o de modificación tectónica.

Meteorito. Parte de un cuerpo celeste (cometa, asteroide, meteoroides) que se origina en el espacio exterior de la Tierra, atraviesa su atmósfera y consigue llegar a su superficie.

Meteorización. Proceso mediante el cual las rocas cambian su composición y forma en la superficie terrestre. La meteorización puede ser química (cambio mineralógico, químico y textural, generalmente asociado a la interacción de agua y rocas), física (cambio textural causado por la interacción de roca y viento, roca y hielo o roca y temperatura) o biológica (causada por la acción de los animales).

Mioceno. Época del periodo neógeno que está comprendida entre los 23 y los 5.3 Ma.

Mucílago. Hidrogel compuesto principalmente por agua, azúcares y sustancias pécticas. El mucílago recubre el grano de café despulpado de 0.4 a 2 mm de espesor, lo que representa aproximadamente el 22% del peso del café despulpado.

Muerte descendente (*Phoma*). Enfermedad ocasionada por un hongo fitopatógeno del género *Phoma* spp., propia de zonas altas, con

régimen de lluvias prolongadas, luminosidad y temperaturas bajas. El hongo ataca los brotes nuevos, las ramas y hojas tiernas.

Multicelular. Este término se refiere a organismos compuestos por más de una célula.

Nevado. Área geográfica de alta montaña donde coexisten glaciares y acumulaciones de nieves perpetuas o temporales.

Nieve. Agua en estado sólido que se genera en las nubes.

Núcleo. Parte más interior de la geósfera.

Ordovícico. Periodo del tiempo geológico que abarca el espacio de tiempo entre 485.4 Ma y 443.8 Ma.

Orogenia. Proceso tectónico a partir del cual se generan grandes cadenas montañosas (Andes, Alpes, Himalaya).

Óxido. Mineral que en su composición química incluye un anión de óxido.

Paleozoico. Era del eón Fanerozoico que comprende el lapso de tiempo entre 541 y 252.17 Ma.

Páramo. Zona con ecosistema de alta montaña. Se encuentra por encima de los 2700 m. s. n. m. Los páramos están generalmente restringidos a zonas tropicales y subtropicales.

Pedogénesis. Proceso de formación de los suelos.

Pedología. Área de las ciencias naturales que se encarga de estudiar el origen y formación de los suelos.

Permafrost. Suelo que presenta un horizonte que permanece congelado por todo el año. El permafrost ocurre generalmente en áreas de alta latitud o de alta montaña.

Pérmico. Periodo más reciente de la era Paleozoica. Va desde los 298.9 Ma hasta los 252.17 Ma.

Piroclástico. Material volcánico originado por una erupción de carácter explosivo.

Pliegue. Forma geológica curva generada a partir de las fuerzas de compresión tectónica de la Tierra. El proceso de formación del pliegue se llama plegamiento.

Plioceno. Época del periodo Neógeno que va desde 5.3 Ma hasta 2.58 Ma.

Pluviosidad. Término que se utiliza para referirse a la cantidad de lluvia que cae en un periodo específico de tiempo en un área geográfica determinada.

Pórfido. Roca ígnea intrusiva que se cristaliza en el subsuelo, pero muy cerca de la superficie. Se caracteriza por tener cristales de diferentes tamaños y composiciones.

Precámbrico. Eón del tiempo geológico que va desde los 4600 Ma hasta los 541 Ma. Algunos utilizan los términos eón Arqueano (4600-

2500 Ma) y Proterozoico (2500-541 Ma) para referirse al Precámbrico.

Protozoo. Organismo microscópico unicelular.

Regolito. Son todos aquellos materiales no consolidados que se encuentran sobre la roca fresca. Pueden provenir de rocas meteorizadas o de materiales del suelo sobre la superficie de la Tierra.

Regresión. Proceso mediante el cual las áreas continentales aumentan por causa de una disminución del nivel del mar.

Riolita. Roca ígnea volcánica fino-cristalina compuesta de hornblenda, biotita, plagioclasa y cuarzo.

Roca ígnea. Roca que se forma a partir de la cristalización del magma.

Roca metamórfica. Roca que resulta de la transformación de una roca preexistente en el subsuelo a altas presiones y temperaturas.

Roca sedimentaria. Roca que se forma en la superficie de la Tierra a partir del transporte, el depósito de partículas y su posterior litificación. Algunas rocas sedimentarias son el producto del depósito de minerales que cristalizan en el agua de mar o agua de lagos (rocas sedimentarias químicas).

Roca siliciclástica. Roca sedimentaria formada por minerales de sílica que son erosionados, transportados, depositados y litificados.

Roca volcánica. Rocas ígneas producto de la actividad volcánica.

Saprolito. Corresponde a los materiales rocosos que se encuentran en un estado avanzado de meteorización, hasta el punto de que pueden ser excavados con una pala debido a su alta porosidad.

Stock. Cuerpo ígneo plutónico intrusivo cuyas dimensiones varían en superficie entre 2 y 100 km.

Sustancias pécticas. Grupo heterogéneo de polisacáridos complejos de naturaleza ácida, constituidos principalmente por una mezcla de tres polisacáridos: el ácido poligalacturónico, la poligalactosa y la poliarabinosa, que constituyen una tercera parte de la pared celular de las plantas.

Tectónica de placas. Proceso mediante el cual los diferentes fragmentos de la corteza terrestre (placas tectónicas) interactúan.

Tiempo geológico. Unidad de medida de tiempo que se utiliza para determinar la edad y duración de los procesos que afectan la geósfera.

Topografía. Término que se utiliza para describir en detalle la superficie de la Tierra.

Triásico. Periodo más antiguo de la era Mesozoica. Va desde 252.17 hasta 201.3 Ma

Unicelular. Organismo compuesto por una sola célula.

LECTURAS RECOMENDADAS

- Bayona, G., Jiménez, G., Silva, C., Cardona, A., Montes, C., Roncancio, J. y Cordani, U. (2010). Paleomagnetic data and K–Ar ages from Mesozoic units of the Santa Marta massif: A preliminary interpretation for block rotation and translations. *Journal of South American Earth Sciences*, 29 (4), 817-831.
- Blanco Quintero, I., García Casco, A., Toro, L., Moreno, M., Ruiz, E., Vinasco, C. y Morata, D. (2014). Late Jurassic terrane collision in the northwestern margin of Gondwana (Cajamarca Complex, eastern flank of the Central Cordillera, Colombia). *International Geology Review*, 56 (15), 1852-1872.
- Bosselmann, A., Dons, K., Oberthur, T., Olsen, C., Rabild, A. y Usma, H. (2009). The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129 (1-3), 253-260.
- Cadena, E. y Parham, J. (2015). Oldest known marine turtle? A new protostegid from the Lower Cretaceous of Colombia. *PaleoBios*, 32 (1). Disponible en <https://escholarship.org/uc/item/147611bv>.
- Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. (1991). *Fundamentos del beneficio del café*. Chinchiná, Caldas, 236.
- Correa, A. (2009). *Estudio petrológico, geoquímico y vulcanológico para establecer la evolución magmática del complejo volcánico Nevado del Huila, Colombia* (tesis de doctorado). Madrid: Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Geológicas. Departamento de Petrología y Geoquímica.
- Cooper, M., Addison, F., Álvarez, R., Coral, M., Graham, R., Hayward, A. y Pulham, A. (1995). Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and middle Magdalena Valley, Colombia. *AAPG Bulletin*, 79 (10), 1421-1442.
- Dahl, T., Hammarlund, E., Anbar, A., Bond, D., Gill B., Gordon, G., Knoll, A., Nielsen, A., Schovsbo, N. y Canfield, D. (2010). Devonian rise in atmospheric oxygen correlated to the radiations of terrestrial plants and large predatory fish. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Disponible en <http://www.pnas.org/content/107/42/17911.short>.
- Días, C. y Benassi, T. (2015). Discrimination between Arabica and robusta coffees using hydrosoluble compounds: Is the efficiency of the parameters dependent on the roast degree? *Beverages*, 1, 127-139.
- Gómez Plata, N. (2017). *Estratigrafía y análisis de proveniencia de la formación Los Indios, y su relación con la evolución tectónica de La Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia)* (tesis de maestría). Colombia, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Gómez, J., Nivia, Á, Montes, N., Almanza, M., Alcárcel, F. y Madrid, C. (2015). *Notas explicativas: mapa geológico de Colombia*. En Gómez, J. y Almanza, M. F. (eds.), *Compilando la geología de Colombia: Una visión a 2015*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano, *Publicaciones Geológicas Especiales* 33, 9-33.
- Gómez, L., Caballero, A. y Baldián, J. (1991). *Ecotopos cafeteros de Colombia*. Bogotá: FNC.
- González, L. (2003). *Meteorización y suelos*. Colombia, Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias.
- Head, J., Bloch, J., Hastings, A., Bourque, J., Cadena, E., Herrera, F., Polly, P. y Jaramillo, C. A. (2009). Giant boid snake from the Palaeocene Neotropics reveals hotter past equatorial temperatures. *Nature*, 457 (7230), 715-717. Disponible en <https://doi.org/10.1038/nature07671>.
- IGAC (2010). *El ABC de los suelos para no expertos*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Isaza, L., Montoya, E., Vélez, J. y Oliveros, C. (2006). Evaluación de la concentración de frutos maduros de café empleando técnicas no selectivas de recolección manual. *Cenicafé* 57 (4), 274-278.
- Janvier, P. y Villarroel, A. (1998). Los peces devónicos del Macizo de Floresta (Boyacá, Colombia): consideraciones taxonómicas, bioestratigráficas, biogeográficas y ambientales. *Geología Colombiana* (23), 3-18.
- Jaramillo, A. (2005). *Clima andino y café en Colombia*. Chinchiná. FNC: Cenicafé.
- Jaramillo, D. (2001). *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín:

- Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Geociencias.
- Keeling, R., Körtzinger, A. y Gruber, N. (2010). Ocean deoxygenation in a warming World. *Annual Review of Marine Science* 2 (1), 199-229.
- Kenneth, A. (2016). Coral reefs under climate change and ocean acidification: Challenges and opportunities for management and policy. *Annual Review of Environment and Resources*, 41 (1), 59-81.
- Laya, J., (2012). Facies analysis and depositional environments of Permian carbonates of the Venezuelan Andes: Palaeogeographic implications for Northern Gondwana. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 331-332, 1-26.
- Mantilla Figueroa, L., García Ramírez, C. y Valencia, V. (2016). Propuesta de escisión de la denominada formación Silgará (Macizo de Santander, Colombia) a partir de edades U-Pb en circones detriticos. *Boletín de Geología*, 38 (1), 33-50.
- Marín, S., Arcila, J., Montoya, E. y Oliveros, C. (2003). Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las características de beneficio, rendimiento y calidad de la bebida. *Cenicafé* 54 (4), 297-315.
- Montilla, J., Arcila, J., Aristizábal, M., Montoya, C., Puerta, G., Oliveros, C. y Cadena, G. (2008). Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional. *Cenicafé* 59 (2), 120-142.
- Montilla, J., Arcila, J., Aristizábal, L., Montoya, C., Puerta, G., Oliveros, C. y Cadena, C. (2008). Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. *Cenicafé. Avances Técnico* 370.
- Montes, C., Guzmán, G., Bayona, G., Cardona, A., Valencia, V. y Jaramillo, C. (2010). Clockwise rotation of the Santa Marta massif and simultaneous Paleogene to Neogene deformation of the Plato-San Jorge and Cesar-Ranchería basins. *Journal of South American Earth Sciences*, 29 (4), 832-848.
- Montes, C., Cardona, A., Jaramillo, C., Pardo, A., Silva, J., Valencia, V., Ayala, C., Pérez Ángel, L., Rodríguez Parra, L., Ramírez, V. y Niño, H. (2015). Middle Miocene Closure of the Central American Seaway. *Science* (348), 226-229. Disponible en <https://doi.org/10.1126/science.aaa2815>.
- Moreno Sánchez, M. y Pardo Trujillo, A. (2003). The evolution of the Caribbean plate. *AAGP Memoir* (79), 891-924.
- Oliveros, C., Roa, G., Sanz, J., Ramírez, C., Álvarez, J., Roa, G. y Álvarez, J. (1995) El desmucilaginado mecánico del café. *Cenicafé. Avance Técnico* 216.
- Páez, V., Morales Betancourt, M., Lasso, C., Castaño Mora, O. y Bock, B. (2012). *Biología y conservación de las tortugas continentales de Colombia*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, serie *Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia*, p. 560.
- Peñuela, A. (2010). Estudio de la remoción del mucílago de café a través de la Fermentación natural (tesis de maestría). Manizales, Colombia: Universidad de Manizales, p. 84.
- Peñuela, A., Pabón, J. y Sanz, J. (2013). Método fermaestro para determinar la finalización de la fermentación del mucílago de café. *Cenicafé. Avances Técnico* 431.
- Pérez Consuegra, N., Cuervo Gómez, A., Martínez C. y Montes C. (2017). Paleogene Salvinia (Salviniaceae) from Colombia and their paleobiogeographic implications. *Review of Palaeobotany and Palynology*, (246), 85-108.
- Puerta, G. (2011). Composición química de una taza de café. *Cenicafé. Avances Técnico* 414, 1-12.
- Puerta, G. (2001). Cómo garantizar la buena calidad de la bebida del café y evitar los defectos. *Cenicafé. Avances Técnico* 284.
- Puerta, G. y Echeverry, J. (2015). Fermentación controlada del café: tecnología para agregar valor a la calidad. *Cenicafé. Avances Técnico* 454.
- Puerta, G. (2010). Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. *Cenicafé. Avances Técnico* 402.
- Puerta, G. y Pabón, J. (2018). Informe de la caracterización de

- la calidad del café del departamento Caldas de la zona del paisaje cultural cafetero de Colombia (PCCC).
- Restrepo, J. (1986). *Avalancha sobre Armero*. Bogotá: El Áncora Editores, pp.127-130.
- Robertson, K., Flórez A. y Ceballos J. (2002). Geomorfología volcánica, actividad reciente y clasificación en Colombia. *Cuadernos de Geografía*, 11 (1-2), 37-76
- Sadeghian, S., Mejía, B. y González, H. (2012). Acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio en los frutos de café (*Coffea arabica* L.). *Revista de Cenicafé*, 63 (1), 7-18.
- Scotese, C. (2001). *Atlas of Earth history (1): Paleogeography*. Texas: Paleomap Project, pp. 52.
- Silva Tamayo, J., Sierra, G. y Correa, L., (2008). Tectonic and climate driven fluctuations in the stratigraphic base level of a Cenozoic continental coal basin, Northwestern Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 26 (4), 369 -382. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2008.02.001>.
- Soil Survey Division Staff - SSSS (2017). *Soil survey manual. Handbook No 18*. Washington D. C., United States Department of Agriculture (USDA), p. 639.
- Vaast P., Bertrand B., Perriot J., Guyot B. y Génard M. (2006). Fruit thinning and shade improve vean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture. Journal of Food Agriculture Sciences*, (86), 197-204.
- Villagómez, D., Spikings, R., Mora, G., Guzmán, G., Ojeda, G., Cortés, E. y Van der Lelij, R. (2011). Vertical tectonics at a continental crust-oceanic plateau boundary zone: Fission track thermochronology of the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Tectonics* 30 (4). Disponible en <https://doi.org/10.1029/2010TC002835>.
- Villagómez, D., Spikings, R., Magna, T., Kammer, A., Winkler, W. y Beltrán, A. (2011). Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the Western and Central Cordilleras of Colombia. *Lithos*, 125 (3), 875-896.
- Wallis, J., Montoya, R., Vélez, J. y Oliveros, C. (2004). Calidad y eficacia de dos métodos no selectivos de recolección manual de café (*Coffea arabica*). *Cenicafé* 55 (1), 45-51.
- Workua, M., Meulenaerb, B., Duchateauc, L. y Boeck, P. (2018). Effect of altitude on biochemical composition and quality of green arabica coffee beans can be affected by shade and post-harvest processing method. *Food Research International* (105), 278-285.
- Zambrano, D. (1993). Fermente y lave su café en el tanque tina. *Cenicafé*. Avances Técnicos 197.
- Zapata, R. (2002). *Química de los procesos pedogenéticos del suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Zeebe, R. (2012). History of seawater carbonate chemistry, atmospheric CO₂, and ocean acidification. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 40 (1), 141-65. Disponible en <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-042711-105521>.



Departamento del Huila.
Fotografía de la Federación Nacional de Cafeteros





De la geología al café
se terminó de imprimir
en la Imprenta Nacional de Colombia,
en julio de 2018.

Para su composición se utilizaron
las tipografías Colfax para el cuerpo de texto,
y Estilo Pro para la titulación.



Bogotá, Colombia



De la geología al café, describe el interesante universo geológico de Colombia, las condiciones climáticas y ambientales y las prácticas de los caficultores colombianos, que se conjugan y entrelazan para que pueda existir una deliciosa taza de café colombiano.

A lo largo del texto se invita al lector a degustar esta espléndida bebida con gusto de explorador, percibiendo a través de una línea de tiempo geológico, el largo camino de procesos naturales que han ocurrido desde la formación del planeta Tierra hasta el crecimiento de una pequeña planta que hoy produce granos de café, cosechados por manos campesinas que han dedicado su vida a cultivar la tierra.

