

# EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA DE HÍBRIDOS DE MAÍZ INTERCALADOS CON CAFÉ

Santiago Jaramillo Cardona \*, Rubén Darío Medina Rivera \*\*, Alexander Jaramillo Jiménez \*

Jaramillo, S., Medina-Rivera, R., & Jaramillo-Jiménez, A. (2024). Evaluación del efecto de la densidad de siembra de híbridos de maíz intercalados con café. *Revista Cenicafé*, 75(1), e75105. <https://doi.org/10.38141/10778/75105>



La producción de maíz intercalado en las calles del café durante la fase de levante ha sido una práctica recomendada por Cenicafé para promover la seguridad alimentaria, generar ingresos complementarios y aumentar la sostenibilidad de los sistemas de producción cafetera. Con el objetivo de evaluar el efecto de la densidad de siembra del híbrido de maíz blanco biofortificado con zinc SGBIOH2 sobre la producción de dos ciclos de maíz intercalado y sobre la producción acumulada de dos cosechas de café, se realizó una investigación en cuatro estaciones experimentales de Cenicafé: Naranjal (Caldas), La Catalina (Risaralda), El Rosario (Antioquia) y El Tambo (Cauca). El experimento fue establecido mediante un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos de densidad de siembra de maíz intercalado (45.000, 50.000, 55.000 y 60.000 plantas por hectárea) y un testigo absoluto en donde no se sembró maíz, que fueron evaluados en nueve bloques por localidad en parcelas de 48 m<sup>2</sup>. Los rendimientos de maíz híbrido intercalado incrementaron linealmente en todas las localidades al aumentar la densidad de siembra de 45.000 a 60.000 plantas por hectárea ( $Pr > F = 0,0001$ ). La producción de café no se afectó por ninguno de los tratamientos de densidad de siembra de maíz ( $Pr > 0,05$ ), lo que indica una baja competencia de los dos cultivos. Así mismo, la calidad física del café representada en la relación café cereza/café pergamino seco y en el factor de rendimiento en trilla tampoco se vio afectada por ninguno de los tratamientos de densidad evaluados.

**Palabras clave:** Intercalamiento, seguridad alimentaria, diversificación de cultivos, maíz, café, Cenicafé, Colombia.

## EVALUATION OF THE EFFECT OF PLANTING DENSITY OF MAIZE HYBRIDS INTERCROPPED WITH COFFEE

The production of maize intercropped with coffee during the establishment stage has been a common practice recommended by Cenicafé to promote food security, generate complementary income and increase the sustainability of coffee production systems. With the objective of evaluating the effect of different planting densities of the white maize hybrid SGBIOH2 biofortified with zinc on the production of two cycles of intercropped maize and on the accumulated production of two coffee harvests, a research was carried out in four experimental stations of Cenicafé: Naranjal (Caldas), La Catalina (Risaralda), El Rosario (Antioquia) and El Tambo (Cauca). The experiment was established through a randomized complete block design with four intercropped maize planting density treatments (45,000, 50,000, 55,000 and 60,000 plants per hectare) and an absolute check without maize, which were evaluated in nine repetitions per location in 48 m<sup>2</sup> plots. Intercropped hybrid maize yields increased linearly in all locations as planting density increased from 45,000 to 60,000 plants per hectare ( $Pr > F = 0.0001$ ). Coffee production was not affected by any of the maize planting density treatments ( $Pr > 0.05$ ), indicating low competition of the two crops. Likewise, the physical quality of the coffee represented in the cherry coffee/dry parchment coffee ratio and milling yield factor was not affected by any of the density treatments evaluated.

**Keywords:** Intercropping, food security, crop diversification, maize, coffee, Cenicafé, Colombia.

\* Investigador Científico II y Auxiliar de Investigación, respectivamente. Disciplina de Fitotecnia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-3342-995X>, <https://orcid.org/0000-0003-4580-1613>

\*\* Investigador Científico II. Disciplina de Biometría, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-9753-9613>



El intercalamiento es una práctica agrícola que involucra a dos o más especies vegetales creciendo juntas o cohabitando por un tiempo definido (Brooker et al., 2015), a su vez la práctica de sembrar cultivos intercalados ofrece importantes ventajas en lo concerniente al uso eficiente del suelo, debido principalmente al aumento de la productividad y a los retornos económicos derivados del uso eficiente de los recursos en comparación al monocultivo (Guvenc & Yildirim, 2006). Para el caso del cultivo del café, la siembra de cultivos intercalados como el maíz y el frijol representa una buena opción para reducir los costos de establecimiento del cafetal pues al tener un ciclo corto ofrecen un rápido retorno económico y aumentan la eficiencia en la mano de obra al compartir labores que benefician a ambos cultivos (Duque-Orrego et al., 2021).

En Colombia, el maíz es el tercer cultivo con mayor superficie de siembra después del café y el arroz, a pesar de ello, es el país con mayor volumen de importaciones en Suramérica y el séptimo en el mundo. La producción de maíz aumentó 76% entre 1961 y 2016, mientras que la demanda creció a un ritmo más acelerado que la producción. En 2012, se alcanzó un máximo histórico de producción de 1,8 Mt (millones de toneladas). De acuerdo con información del año 2016, la producción cayó a 1,6 Mt. En este mismo año, se importó el 74% de la demanda nacional, es decir 4,6 Mt de las 6,2 Mt que se requieren en el país, de mantenerse dicha tendencia, se espera que la producción crezca alrededor del 6% y la demanda en 9% entre 2018 y 2030 (Govaerts et al., 2019). En las fincas cafeteras la producción competitiva de maíz biofortificado intercalado en las calles del café en lotes renovados por siembra o por zoca, es una práctica que aumenta la sostenibilidad económica, social y ambiental de los sistemas de producción ya que representa una fuente de ingresos

adicionales con la que se pueden sufragar gran parte de los costos de establecimiento del cafetal, mejora la alimentación y la nutrición de las familias caficultoras, además de ofrecer servicios ecosistémicos como la captura de carbono, el aumento de la biodiversidad y la cobertura superficial del suelo que reduce la erosión hídrica (Jaramillo & Salazar, 2021).

La productividad de los híbridos modernos de maíz está íntimamente ligada con factores relacionados con el genotipo, el ambiente y el manejo agronómico, siendo la densidad de siembra entendida como el número de plantas por hectárea, el factor de manejo agronómico que junto con la fecha de siembra y la fertilización nitrogenada, inciden mayormente en la obtención de altos rendimientos (Almeida et al., 2000; Cox & Cherney, 2001; Sangoi, 2001; Andrade et al., 2002; Duvick, 2005; Quevedo et al., 2018). El maíz es más sensible que otras especies gramíneas a las variaciones en densidades de población, esto ha generado un esfuerzo de investigación intenso con una visión hacia mejorar el entendimiento sobre cómo los cambios en el número de individuos por unidad de área impactan el rendimiento de grano y para identificar las densidades óptimas de población para esta especie bajo un amplio rango de condiciones ambientales y de manejo agronómico (Sangoi, 2000).

Las densidades de siembra recomendadas para las variedades de maíz amarillo ICA V-305 y de maíz blanco ICA V-354 en el sistema intercalado con café son de 45.000 plantas por hectárea para el primer ciclo de maíz y de 30.000 plantas por hectárea para el segundo ciclo, ya que debido a su elongación de entrenudos puede afectarse la producción por efecto del volcamiento (Arcila et al., 2007). En la actualidad el mejoramiento genético para aumentar el rendimiento de grano de los híbridos de maíz está asociado con el

incremento de la tolerancia de estos materiales a altas densidades de plantas, en donde al introducir cambios en la arquitectura de la plantas de maíz les permiten a los híbridos alcanzar mayores tasas fotosintéticas de las hojas del tercio superior a altas densidades de siembra (Dwyer et al., 1991; Tollenaar, 1992; Sangoi, 2000; Quevedo et al., 2018). Esta condición también promueve el uso eficiente de la radiación durante la fase de llenado de grano, lo cual contribuye a la producción de un mayor número granos por planta y a un mayor rendimiento; adicionalmente, una arquitectura de planta más compacta y de tallos gruesos incide positivamente sobre el anclaje del maíz a altas densidades, reduciendo problemas como el volcamiento de tallos (Sangoi, 2000; Sakariyawo et al., 2018).

En 2019, en un esfuerzo conjunto entre la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), se liberó para la zona cafetera colombiana el híbrido simple de maíz blanco biofortificado con zinc SGBIOH2, cuyos principales atributos agronómicos son su alto potencial productivo, la resistencia a *Phyllacora maydis*, *Monographella maydis*, *Coniothyrium phyllachorae* (complejo fungoso de la mancha de asfalto) y la tolerancia genética al volcamiento de tallos que le permite sembrarse a densidades de siembra en monocultivo hasta de 90.000 plantas por hectárea. Para el sistema intercalado con café era necesario definir las densidades de siembra de este híbrido con las cuales se obtuvieran los rendimientos más altos de maíz sin que se afectara la producción de café; para lo cual se estableció esta investigación cuyo objetivo fue evaluar en el sistema intercalado, el efecto de cuatro tratamientos de densidad de siembra del híbrido sobre la producción de dos ciclos de maíz y sobre producción acumulada de café durante dos cosechas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en dos etapas. Durante la primera etapa se evaluó el efecto de cuatro diferentes densidades de siembra del híbrido de maíz SGBIOH2 sobre la producción de grano de maíz al 14% de humedad durante dos ciclos consecutivos establecidos bajo el sistema intercalado con café en lotes renovados por siembra y por zoca, en cuatro localidades. Durante la segunda etapa se evaluó la producción acumulada de café de las dos primeras cosechas, la relación cereza/pergamino seco y el factor de rendimiento en trilla para cada uno de los tratamientos de densidad.

**Localización.** La investigación se llevó a cabo en cuatro estaciones experimentales de Cenicafé: Naranjal (Caldas), La Catalina (Risaralda), El Rosario (Antioquia) y El Tambo (Cauca); estas localidades fueron seleccionadas debido a que presentan condiciones contrastantes en cuanto a las características geográficas y climáticas que se presentan en la Tabla 1.

En todas las localidades de evaluación se realizaron los análisis físicos y químicos de suelos que sirvieron como base para la toma de decisiones relacionadas con la aplicación de enmiendas para la corrección de la acidez y para el ajuste de los planes de fertilización tanto del maíz como del café, los resultados de dichos análisis se presentan en la Tabla 2.

Teniendo en cuenta el arreglo espacial del café en las diferentes localidades presentado en la Tabla 3, se ajustaron los arreglos espaciales del maíz para el establecimiento de cada uno de los tratamientos de densidad de siembra evaluados mediante la Ecuación <1> descrita por Jaramillo (2023):

$$DSS = \left[ \frac{(10000 \times TS)}{(DSC \times DD)} \right] \times NSS \quad <1>$$

Donde:  
 DSS: distancia entre sitios de siembra de maíz (m)  
 TS: tipo de surco (simple: 1; doble: 2; triple: 3)

DSC: distancia entre surcos de café (m)  
 DD: densidad de siembra de maíz deseada  
 NSS: número de semillas por sitio

**Tabla 1.** Características geográficas y climáticas de las localidades de evaluación.

Característica /Estación	Naranjal	La Catalina	El Rosario	El Tambo
Departamento	Caldas	Risaralda	Antioquia	Cauca
Municipio	Chinchiná	Pereira	Venecia	El Tambo
Latitud	04°58'N	04°45'N	05°58'N	02°24'N
Longitud	75°39'W	75°44'W	75°42'W	76°44'W
Altitud (m)	1.381	1.321	1.635	1.735
Temperatura promedio (°C)	21.2	21.7	20.4	18.9
Humedad relativa promedio (%)	80	77	75	80
Brillo solar anual promedio (horas)	1.636	1.621	1.935	1.662
Precipitación anual promedio (mm)	2.939	2.282	2.644	2.078

Fuente: (García-López et al., 2023). Información obtenida de la normal climatológica (1990-2019)

**Tabla 2.** Propiedades físicas y químicas de los suelos de las localidades de evaluación.

Localidad	pH	MO	N	P	Al	K	Ca	Mg	S	Arcilla	Limo	Arena	Textura
		%	mg kg <sup>-1</sup>	cmol (+)-kg	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	%	%				
Naranjal	4,5	12,0	0,47	23	1,10	0,18	0,57	0,26	19,70	27,0	19,0	55,0	F.Ar.A
La Catalina	4,6	10,6	0,42	23	0,90	0,53	1,92	0,32	13,60	28,0	27,0	45,0	F.Ar.A
El Rosario	4,2	10,0	0,41	20	8,0	0,25	0,96	0,6	13,8	51,0	16,0	34,0	Ar.
El Tambo	4,0	20,3	0,68	20	3,79	1,01	1,38	0,62	15,13	38,0	12,0	50,0	F

Métodos de Análisis: pH: Potenciométrico-suelo: Agua 1:1; N: Calculado; MO: Walkley-Black-Colorimetría; K, Ca, Mg: Acetato de amonio 1N pH 7.0-EAA; Al:KCl IM-titulación; P:Bray II-colorimetría Bray Kurtz; Textura : Bouyoucos con pirofosfato de sodio-clasificación diagrama triangular de USDA- F (franco), Ar (arcilloso), L (limoso), A (arenoso).

**Tabla 3.** Características particulares de los lotes de café en los que fue establecida la investigación en términos de variedad, densidad de siembra, arreglo espaciales y método de renovación.

Estación	Variedad de café	Arreglo espacial (DP x DS) en metros	Densidad de siembra de café (árboles/ha)	Método de renovación
Naranjal	Castillo Zona Sur	1,4 x 1,0	7.142	Siembra
La Catalina	Castillo General	1,4 x 1,0	7.142	Zoca tradicional
El Rosario	Castillo Zona Centro	1,4 x 1,0	7.142	Siembra
El Tambo	Cenicafé 1	1,0 x 1,0	10.000	Siembra

### Metodología utilizada en la etapa 1

En cada una de las cuatro localidades se seleccionaron lotes renovados de café en fase de levante en los que se estableció un diseño experimental de bloques completos al azar, con cinco tratamientos y nueve repeticiones, en donde el factor de bloqueo se determinó en función de la pendiente del terreno. El tamaño de la parcela experimental fue de 48 m<sup>2</sup> (6m x 8m), cubriendo un área total de 0,25 hectáreas por localidad. Los tratamientos de densidad de siembra de maíz fueron 45.000, 50.000, 55.000 y 60.000 plantas por hectárea y un testigo absoluto sin maíz. Las parcelas fueron sembradas manualmente con semillas certificadas de maíz híbrido SGBIOH2 previamente tratadas con una mezcla de imidacloprid + thiodicarb (150+450 I.A g L<sup>-1</sup>) en dosis de 5 cm<sup>3</sup> de producto comercial por kilogramo de semilla. Un día después de la siembra se realizó la aplicación de una mezcla de los herbicidas: glifosato (1.5 L ha<sup>-1</sup>) + pendimetalina (800 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) utilizando un volumen de mezcla de 200 litros por hectárea; esta aplicación se realizó utilizando boquillas Teejet 8001, con pantalla protectora para evitar el contacto con las plantas de café, a una presión constante de 20 Pa y dirigida sobre los surcos de maíz sembrados en el centro de las calles del café.

La fertilización del maíz se llevó a cabo en tres momentos: (i) Etapa VE-5 días después de la emergencia de las plantas, se aplicó una mezcla por hectárea de 40 kg de N, 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 50 kg de K<sub>2</sub>O en forma de corona evitando el contacto directo del fertilizante con los tallos tiernos; (ii) Etapa V6-Sexta hoja, se aplicó una mezcla por hectárea de 69 kg de N y 50 kg de K<sub>2</sub>O y (iii) Etapa V10- Décima hoja, se aplicaron al voleo 69 kg de N por hectárea. El manejo fitosanitario se realizó de acuerdo a los niveles de daño económico determinados a través de monitoreos periódicos de los insectos plaga y de las enfermedades que se presentaron en cada una de las localidades. La cosecha del maíz se realizó de forma manual en etapa de madurez fisiológica con una humedad de grano del 20%, posteriormente se realizó el desgrane mecánico de las mazorcas y el secado de los granos en secadores tipo parabólicos hasta una humedad del 14%. En cada una de las parcelas se registraron tanto la producción de grano seco en kilogramos de maíz (variable de respuesta 1) y la humedad en porcentaje. En cada una de las localidades se llevaron a cabo dos ciclos consecutivos de maíz híbrido intercalado estableciendo los diferentes tratamientos de densidad de siembra en las mismas parcelas del ciclo anterior.

El manejo agronómico del cultivo del café en todas las localidades se realizó siguiendo los lineamientos de la Guía Más Agronomía, Más Productividad, Más Calidad (Centro Nacional de Investigaciones de Café, 2021) y los planes de fertilización del café se realizaron de acuerdo a las recomendaciones del Sistema de Reporte e Interpretación de Análisis de Suelos (SIASCAFÉ-V2) disponible en [www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org).

## **Metodología utilizada en la etapa 2**

Una vez concluida la cosecha de los dos ciclos de evaluación de maíz, se inició con el registro de la producción de café en las cuatro localidades. En cada una de las parcelas en donde fueron establecidos los cuatro tratamientos de densidad de siembra de maíz y en las parcelas testigo en donde no se sembró maíz, se realizó la recolección manual, pesaje y registro de la cantidad de café cereza cosechada (variable de respuesta 2); adicionalmente durante el pase principal de la segunda cosecha de café se recolectaron muestras en cada una de las parcelas para determinar luego del beneficio húmedo, la relación cereza / pergamino seco (cc/cps) y el factor de rendimiento en trilla que corresponde a la cantidad de café pergamino seco que se necesita trillar para obtener un saco de 70 kg de café excelso de exportación (variables complementarias).

## **Análisis estadístico**

En este análisis se incluyó la producción de un testigo absoluto, que consistió en parcelas sembradas sólo con café sin cultivo intercalado de maíz. Para cada tratamiento, se realizó un análisis descriptivo en donde se determinó el promedio y el error estándar de las variables de respuesta y de las variables complementarias. En la primera etapa se realizó un análisis de varianza asociado al diseño de bloques completos al azar con la variable de respuesta

producción de maíz, al 5%; en este análisis no se incluyó el testigo absoluto. Para determinar si con las densidades de siembra evaluadas se afectaba la producción de café, se realizó en la segunda etapa un análisis de varianza asociado al diseño de bloques completos al azar al 5%, con la variable de respuesta producción acumulada de café pergamino seco por parcela de 48 m<sup>2</sup>, en este análisis se incluyó el testigo absoluto que corresponde a las parcelas en donde no se sembró maíz. Adicionalmente se realizó un análisis de varianza para las variables complementarias relación cereza/pergamino seco y factor de rendimiento en trilla.

## **RESULTADOS**

Para la cosecha del primer ciclo de maíz, la producción promedio observada para la Estación Naranjal estuvo entre 6.892 kg para la densidad más baja de maíz correspondiente a 45.000 plantas por hectárea y 8.490 kg por hectárea en la densidad de 60.000 plantas de maíz por hectárea, con errores estándar de 271,8 y 183,5 kg, respectivamente (Tabla 4), donde los coeficientes de variación no superan el 12%, indicando una baja variabilidad en las producciones. Los valores de producción de maíz de la Estación Naranjal, contrastan con los observados en la Estación El Tambo en donde se presentó esterilidad de grano que afectó negativamente el rendimiento, evidenciado además en una mayor variabilidad en la producción con respecto a las otras estaciones con coeficientes de variación de 76% en el tratamiento de densidad de 45.000 plantas por hectárea.

Para la cosecha del segundo ciclo de maíz, el comportamiento de la producción promedio para cada estación y densidad, fue similar a la observada en el primer ciclo, pero con una disminución promedio en La Catalina de 7%, 15% para Naranjal, 5% para El Rosario y del 29% para El Tambo, independientemente de la

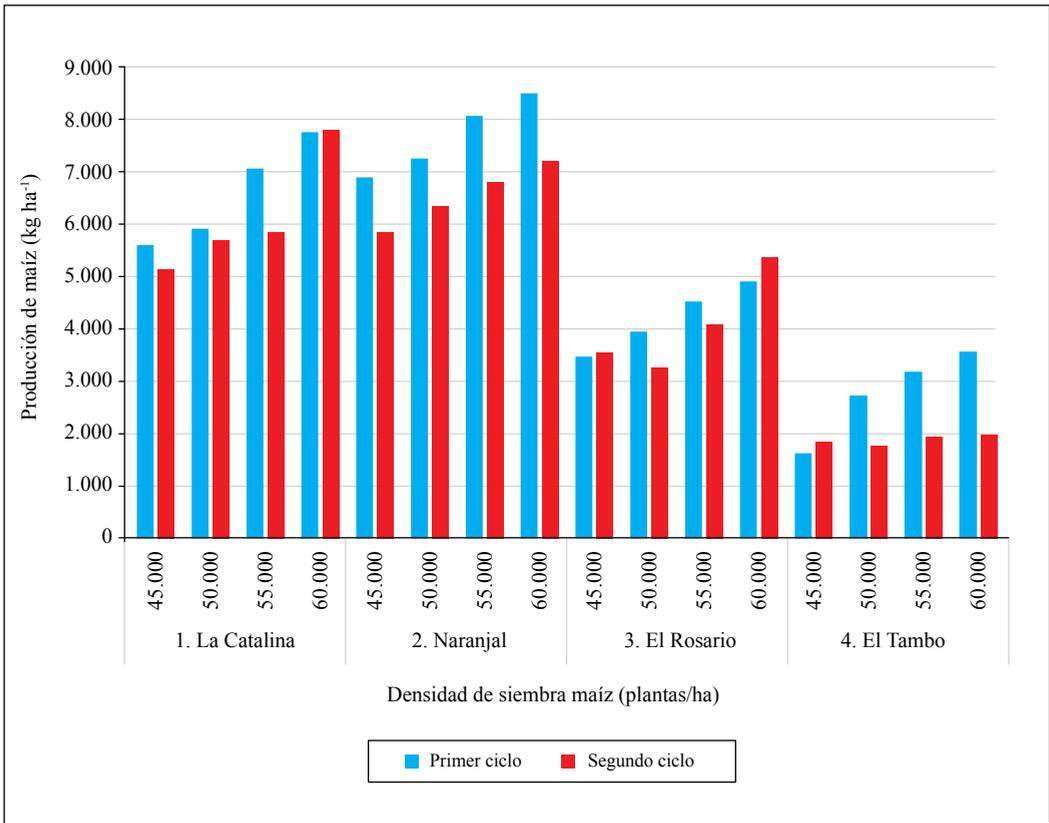
densidad (Figura 1), lo anterior puede explicarse por el exceso de precipitación predominante en la condición La Niña reportada durante el desarrollo de este ciclo productivo.

Para cada una de las estaciones experimentales y ciclos de cosecha, se realizó el análisis de varianza bajo el modelo de bloques completos al azar (DBCA), el cual indicó para todas las estaciones y ciclos de cosecha, un efecto de las densidades de siembra sobre la producción de maíz con un nivel de significancia del 5% ( $Pr > F = 0,0001$ ), a excepción de la Estación Experimental El

Tambo, en el segundo ciclo de producción ( $Pr > F = 0,7492$ ), la cual no mostró efecto de tratamientos posiblemente atribuido a problemas de adaptabilidad del híbrido en altitudes superiores a los 1.700 m (Tabla 4 y Figura 1). Cabe resaltar que la prueba de polinomios ortogonales, indicó en todos los análisis de varianza que fueron significativos, con una tendencia lineal ( $Pr > F = 0,0001$ ) en la producción de maíz híbrido por efecto de las densidades de siembra, lo que significa que, para las densidades evaluadas, a mayor densidad de siembra, mayor rendimiento del híbrido de maíz.

**Tabla 4.** Promedio y error estándar del rendimiento de maíz híbrido SGBIOH2 (kg ha<sup>-1</sup>) por ciclo de cosecha y densidad de siembra de maíz híbrido SGBIOH2 para cada Estación Experimental.

Ciclo	Densidad (Tratamiento)	La Catalina		Naranjal		El Rosario		El Tambo	
		Prom.	Error estándar	Prom.	Error estándar	Prom.	Error estándar	Prom.	Error estándar
1	45.000	5.614,1	394,2	6.892,2	271,8	3.479,9	244,7	1.632,2	414,5
	50.000	5.924,1	319,8	7.264,9	267,5	3.943,0	272,3	2.740,5	179,4
	55.000	7.069,1	197,4	8.066,6	189,4	4.537,4	349,0	3.193,7	112,4
	60.000	7.751,6	229,5	8.490,2	183,5	4.913,4	315,2	3.558,9	118,8
Pr > F		<0,0001		<0,0001		<0,0001		0,0004	
2	45.000	5.137,2	354,7	5.836,3	245,1	3.552,1	310,6	1.854,7	208,3
	50.000	5.693,0	269,1	6.352,5	200,6	3.246,5	319,9	1.765,1	149,4
	55.000	5.846,3	421,4	6.804,4	239,6	4.093,8	238,0	1.942,1	163,5
	60.000	7.813,1	311,6	7.209,1	286,7	5.355,3	302,6	1.982,6	159,9
Pr > F		<0,0001		<0,0001		0,0276		0,7492	

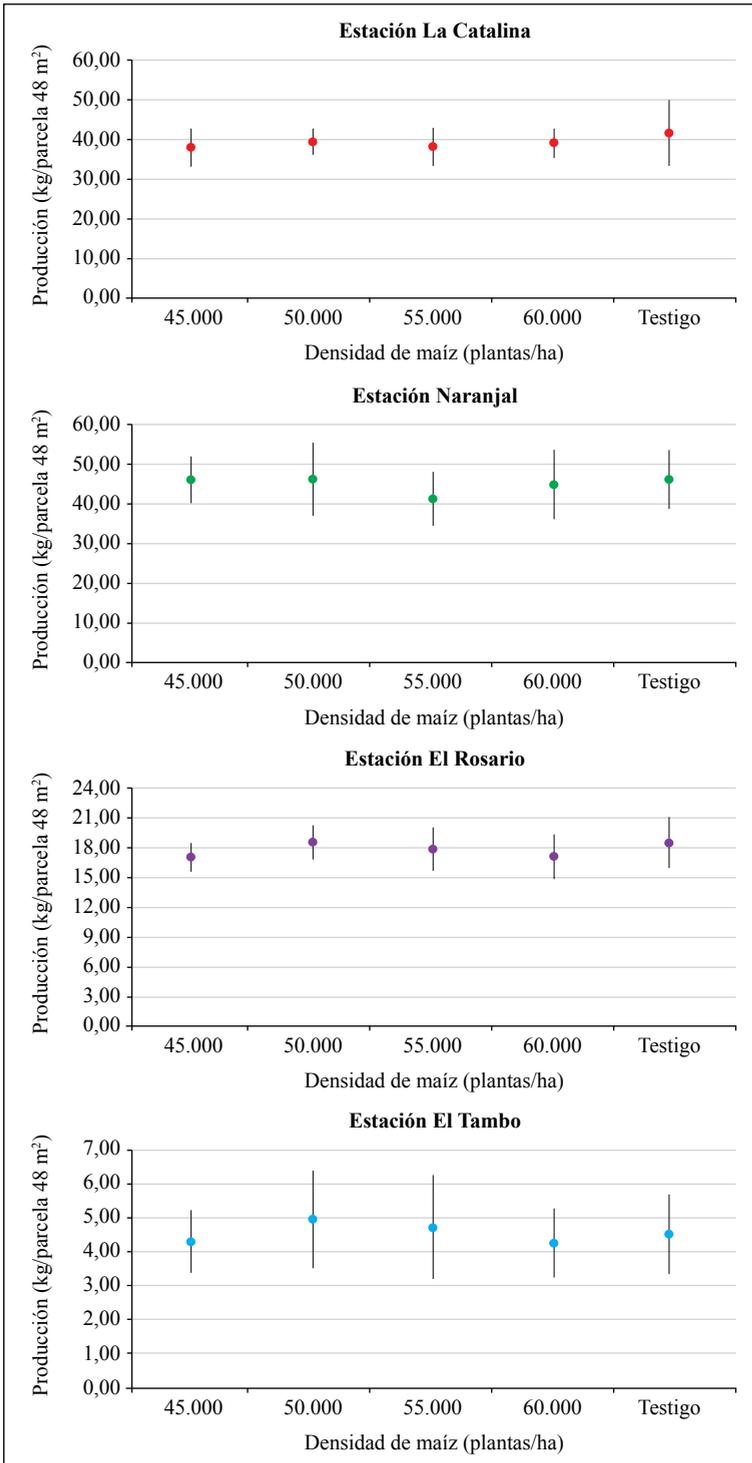


**Figura 1.** Promedio de producción de maíz al 14% de humedad ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para cada localidad y para cada tratamiento de densidad de siembra por ciclo de cosecha.

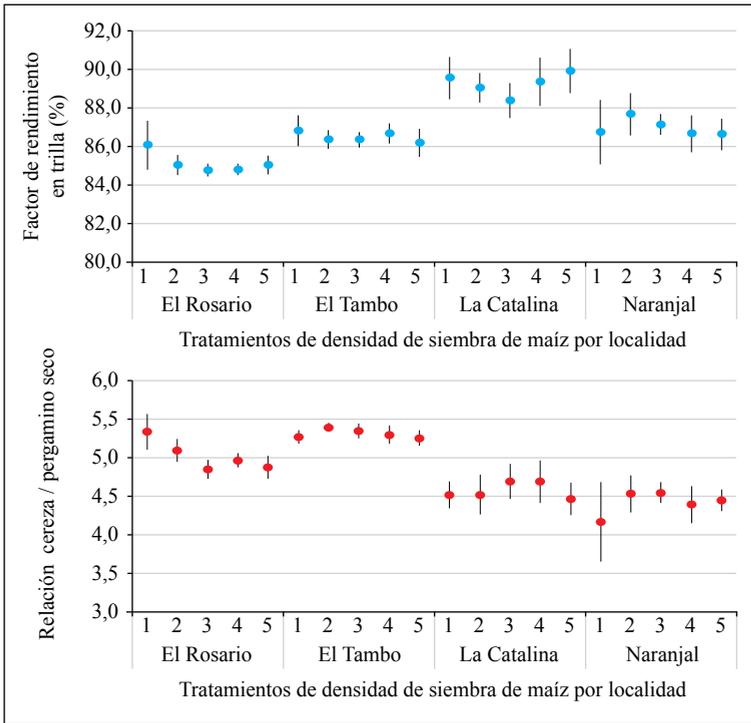
Para todas las estaciones, el análisis no mostró efecto de tratamientos ( $\text{Pr} > 0,05$ ), lo que implica que la producción de café en el sistema intercalado con maíz no se afectó en ninguna de las densidades evaluadas, logrando corroborar la hipótesis de la investigación asociada a la no afectación de la producción de café con las cuatro densidades de maíz evaluadas, este comportamiento se evidencia en los promedios de producción por parcela de  $48 \text{ m}^2$  en intervalos de confianza del 95% (Figura 2).

Para evaluar el efecto de los cuatro tratamientos de densidad de siembra de maíz

intercalado sobre la calidad física del café en términos de la relación de café cereza sobre café pergamino seco y el factor de rendimiento en trilla, se realizó un análisis de varianza asociado al diseño DBCA, el cual no mostró diferencias estadísticas significativas, excepto para la relación cereza/pergamino seco en la localidad El Rosario. En esta localidad se presentó una tendencia cuadrática ( $\text{Pr} > F 0,013$ ), la cual se explica porque en el tratamiento de 45.000 plantas de maíz por hectárea se presenta una mayor relación cc/ cps con respecto a los tratamientos 2, 3, 4 y frente al testigo (Figura 3).



**Figura 2.** Promedio e intervalo con un coeficiente de confianza del 95%, para la producción acumulada en kilogramos de café pergamino seco (kg ha<sup>-1</sup>) por parcela de 48 m<sup>2</sup>.



**Figura 3.** Promedios e intervalos con un coeficiente de confianza del 95%, para el factor de rendimiento en trilla en porcentaje y para la relación café cereza / pergamino seco en las cuatro localidades de evaluación. Los valores del 1 al 5 del eje x, corresponden a los tratamientos de densidad de siembra en plantas por hectárea de (1) 45.000; (2) 50.000; (3) 55.000; (4) 60.000 y (5) Testigo absoluto sin maíz.

## DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta el comportamiento de las producciones de maíz híbrido observado en el sistema intercalado en las calles del café durante dos ciclos consecutivos en las cuatro localidades de evaluación, se evidenció un marcado efecto de la densidad de siembra sobre la producción de grano de maíz al 14% de humedad, mostrando una tendencia lineal que indica que al aumentar las densidades de siembra y, por ende, las poblaciones de plantas de maíz de 45.000 a 60.000 plantas por hectárea, se incrementan los rendimientos de maíz de manera significativa, estos resultados son similares a los reportados por Almeida et al. (2000), Sangoi (2001) para híbridos de maíz sembrados en monocultivo. Adicionalmente, durante el desarrollo de la investigación se observó un comportamiento diferencial en

la adaptabilidad del híbrido de maíz blanco biofortificado SGBIOH2 de acuerdo a la altitud contrastante de las localidades de evaluación, evidenciadas principalmente en una mayor productividad del maíz híbrido en las localidades Naranjal y La Catalina, ubicadas en altitudes de 1.381 y 1.321 metros, respectivamente; a diferencia de las localidades El Rosario y El Tambo ubicadas en altitudes de 1.635 y 1.735 metros, respectivamente, en donde los rendimientos registrados durante los dos ciclos de evaluación fueron inferiores, lo que podría condicionar la decisión de establecer este material en altitudes superiores a 1.600 m.

Al analizar el comportamiento productivo del café (cultivo principal) que fue sometido a dos ciclos consecutivos de maíz híbrido (cultivo acompañante) intercalado durante la etapa vegetativa del café, bajo cuatro niveles de

densidad de siembra de maíz, no se observaron diferencias en la producción de café asociadas al aumento de la población de plantas de maíz frente a las parcelas testigo de café sin maíz. Este hallazgo justifica la práctica de establecer durante la etapa vegetativa del café dos ciclos consecutivos de maíz híbrido SGBIOH2 a densidades de siembra de 60.000 plantas por hectárea sin que se afecte la producción de café; debe tenerse en consideración que en trabajos posteriores podrían evaluarse mayores densidades de siembra de maíz para seguir incrementando su rendimiento, sin que se afecte la producción de café.

Las variaciones en la duración de la etapa vegetativa del café relacionadas con las diferencias altitudinales de las localidades, también explican parte de la variabilidad en la producción acumulada de café en kilogramos de café pergamino seco entre localidades; ya que en las Estaciones Naranjal, La Catalina y El Rosario la primera cosecha de café se registró a los 18 meses después de la renovación; en contraste con la Estación el Tambo en donde los registros de producción de café iniciaron a los 24 meses después de la renovación.

La calidad física del café recolectado en las parcelas en donde fueron establecidos los dos ciclos de maíz intercalado, no se afectó por ninguna de las densidades de siembra de maíz intercalado y exhibió un comportamiento similar al de las parcelas testigo en donde no se sembró maíz. Si bien el análisis de varianza para las variables complementarias relación cereza/pergamino seco y factor de rendimiento en trilla no mostraron diferencias estadísticas entre los tratamientos, cabe resaltar que la menor relación se obtuvo en la Estación Naranjal con un valor de 4,2 y la mayor en la Estación El Tambo con un valor de 5,4; subrayando que cuando la relación es baja, indica que se requiere una menor cantidad de

café cereza para obtener un kilogramo de café pergamino seco, lo cual es beneficioso desde el punto de vista económico. Los factores de rendimiento en trilla fueron inferiores a 90 en todas las localidades, sobresaliendo los factores reportados en la Estación El Rosario que fueron de 84,1.

## CONCLUSIONES

Los rendimientos de dos ciclos de maíz híbrido sembrados consecutivamente en las calles del cafetal durante la etapa vegetativa del café, aumentaron linealmente conforme la densidad de siembra del maíz aumentaba, este comportamiento se explica en gran medida gracias a la tolerancia genética de estos nuevos genotipos al adensamiento y al volcamiento. La producción acumulada de café de las dos primeras cosechas no se afectó por ninguno de los cuatro tratamientos de densidad de siembra de maíz evaluados, esto indica que los caficultores pueden sembrar hasta 60.000 plantas por hectárea de maíz sin que se vean comprometidas la productividad y la calidad física del café. Los rendimientos del híbrido de maíz SGBIOH2 fueron menores en las localidades ubicadas a altitudes por encima de los 1.600 m, posiblemente debido a problemas de adaptabilidad; lo que representa una oportunidad para realizar investigaciones sobre el desempeño agronómico de nuevos genotipos de maíz con mejor adaptación a estas altitudes.

## AGRADECIMIENTOS

A las disciplinas de Experimentación, Suelos, Agroclimatología, Biometría y Fitotecnia de Cenicafé, a la Unidad Administrativa y Financiera de Cenicafé, a la Dirección de Cenicafé y a la Gerencia Técnica de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Este trabajo fue financiado con recursos del Fondo Nacional del Café.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización, Curación de datos,  
Redacción-borrador original, Metodología:

S.J.C.; Análisis Formal, Validación: S.J.C.;  
R.D.M.R; Redacción- revisión y edición:  
S.J.C.; R.D.M.R, A.J.J. Todos los autores  
han leído y aceptado la versión publicada  
del manuscrito.

## LITERATURA CITADA

- Almeida, M. L. de, Merotto Junior, A., Sangoi, L., Ender, M., & Guidolin, A. F. (2000). Incremento na densidade de plantas: Uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. *Ciência Rural*, 30(1), 23–29. <https://doi.org/10.1590/S0103-8478200000100004>
- Andrade, F. H., Calviño, P., Cirilo, A., & Barbieri, P. (2002). Yield Responses to Narrow Rows Depend on Increased Radiation Interception. *Agronomy Journal*, 94(5), 975–980. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.9750>
- Brooker, R. W., Bennett, A. E., Cong, W., Daniell, T. J., George, T. S., Hallett, P. D., Hawes, C., Iannetta, P. P. M., Jones, H. G., Karley, A. J., Li, L., McKenzie, B. M., Pakeman, R. J., Paterson, E., Schöb, C., Shen, J., Squire, G., Watson, C. A., Zhang, C., ... White, P. J. (2015). Improving intercropping: A synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist*, 206(1), 107–117. <https://doi.org/10.1111/nph.13132>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2021). *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3rd ed.). Cenicafe. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0014>
- Cox, W. J., & Cherney, D. J. R. (2001). Row Spacing, Plant Density, and Nitrogen Effects on Corn Silage. *Agronomy Journal*, 93(3), 597–602. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.933597x>
- Duque-Orrego, H., Salazar, H. M., Rojas-Sepúlveda, L. A., & Gaitán, Á. (2021). *Análisis económico de tecnologías para la producción de café en Colombia*. Cenicafe. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0016>
- García-López, J. C., Ramírez-Carabalí, C., & Sarmiento-Herrera, N. (2023). Respuesta climática a eventos ENOS La Niña entre 1998 y 2022, en la zona cafetera. *Avances Técnicos Cenicafe*, 550, 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0550>
- Govaerts, B., Vega, D., Chávez, X., Narro, L., San Vicente, F. M., Palacios-Rojas, N., Pérez, M., González, G., Ortega, P., Carvajal, A., Arcos, A. L., Bolaños, J., Romero, N., Bolaños, J., Vanegas, Y. F., Echeverría, R. G., Jarvis, A., Jiménez, D., Ramírez-Villegas, J., ... Tapasco, J. (2019). *Maíz para Colombia Visión 2030* (p. 109). Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. <https://repository.cimmyt.org/handle/10883/20218>
- Guvenc, I., & Yildirim, E. (2006). Increasing Productivity with Intercropping Systems in Cabbage Production. *Journal of Sustainable Agriculture*, 28(4), 29–44. [https://doi.org/10.1300/J064v28n04\\_04](https://doi.org/10.1300/J064v28n04_04)
- Jaramillo, S. (2023). Recomendaciones para el manejo agronómico del cultivo de frijol arbustivo en el sistema intercalado con café. *Avances Técnicos Cenicafe*, 551, 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0551>
- Jaramillo, S., & Salazar, H. M. (2021). Cultivos intercalados: Una alternativa para aumentar los ingresos y la sostenibilidad de cafetales. *Avances Técnicos Cenicafe*, 534, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0534>
- Quevedo, Y. M., Beltrán, J. I., & Barragán-Quijano, E. (2018). Effect of sowing density on yield and profitability of a hybrid corn under tropical conditions. *Agronomía Colombiana*, 36(3), 248–256. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v36n3.71268>
- Sangoi, L. (2001). Understanding Plant Density Effects On Maize Growth And Development: An Important Issue To Maximize Grain Yield. *Ciencia Rural*, 31(1), 159–168. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000100027>