

DENSIDAD DE SIEMBRA DEL CAFÉ VARIEDAD CASTILLO® EN SISTEMAS AGROFORESTALES, EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER-COLOMBIA

Fernando Farfán Valencia*, Pedro María Sánchez Arciniegas**

FARFÁN V., F.; SÁNCHEZ A., P. Densidad de siembra del café Variedad Castillo® en sistemas agroforestales, en el departamento de Santander-Colombia. Revista Cenicafé 67 (1): 55-62. 2016

Con el propósito de determinar la densidad de siembra con la que se obtiene la producción máxima para *Coffea arabica*, Variedad Castillo® general, en la Finca Las Tapias, ubicada en el municipio del Socorro, departamento de Santander, se evaluaron las densidades de siembra del café de 2.500, 5.000 y 10.000 plantas/ha, bajo sombrío de *Inga edulis* (guamo santafereño) establecido a 70, 123 y 278 árboles/ha. Los resultados indican que la densidad de siembra del café con la que se obtuvo la mayor producción fue de 10.000 plantas/ha con el sombrío establecido a cualquier densidad; y la máxima producción se alcanzó con el café establecido con 10.000 plantas/ha y con el sombrío de *Inga edulis* (guamo santafereño) con 123 árboles/ha.

Palabras clave: Sombrío, producción, *Inga edulis*, sistema agroforestal.

PLANTING DENSITY OF THE CASTILLO® COFFEE VARIETY IN AGROFORESTRY SYSTEMS IN THE DEPARTMENT OF SANTANDER-COLOMBIA

In order to determine the planting density at which the maximum production is obtained for *Coffea arabica*, general Castillo® Variety, the coffee planting densities of 2,500, 5,000 and 10,000 plants/ha were evaluated under shade of *Inga edulis* (Santafereno guamo) set at 70, 123 and 278 trees/ha at Las Tapias farm, located in the municipality of Socorro, Santander department. The results indicated that 10,000 plants/ha with shading set at any density was the coffee planting density with the highest yield; and the average maximum production was reached with coffee established at 10,000 plants/ha and the shade of *Inga edulis* (Santafereno guamo) at 123 trees/ha.

Keywords: Shading, production, *Inga edulis*, agroforestry system.

* Investigador Científico II, Disciplina de Fitotecnia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

** Asistente de Investigación, Disciplina de Experimentación, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

La cantidad de café pergamino seco obtenido al término de un ciclo productivo, es el resultado de la sumatoria de diversos factores, entre los cuales pueden mencionarse la variedad cultivada, la oferta ambiental, el manejo y la ontogenia del cultivo. Cualquier proceso de análisis para tratar de identificar la producción máxima alcanzable en una región determinada, deberá empezar por identificar la interacción de dichos factores. Asociar la producción con uno o pocos factores, como por ejemplo factores climáticos usando metodologías que implican análisis de regresiones, restringen el análisis de situaciones complejas que se presentan al interior de los sistemas de producción, como son los procesos biológicos (9).

Uno de estos procesos biológicos es el desarrollo vegetativo y productivo del café, lo cual implica entre otros, la formación de órganos potenciales de ser cosechados, es decir, los frutos, la determinación de la cantidad máxima de frutos a cosechar, el llenado de estos órganos y la pérdida de la funcionalidad de las hojas (6,16). La cantidad de frutos a cosechar dependerá de la manipulación del número de árboles por unidad de superficie, lo que a su vez está determinado por el establecimiento de un adecuado índice de área foliar, que para el caso del café oscila entre siete y ocho (4). El potencial fotosintético, el nivel de nutrientes en el suelo, la radiación solar, la temperatura y la disponibilidad hídrica, entre muchos otros, son factores importantes que determinan la magnitud final del área foliar y la del sistema radical alcanzado por el cultivo (8).

En sistemas complejos como los sistemas agroforestales, la determinación de la densidad de siembra adecuada para regiones específicas, mejora la capacidad productiva del suelo mediante la regulación del pH, aumento en

los niveles de Ca, Mg, K, P y C orgánico, la estabilidad de agregados, el mejoramiento de la retención de agua y la reducción de los niveles de Al, debido a que permite una mayor absorción de agua y nutrientes, reduciendo de esta manera las pérdidas y el uso de fertilizantes, lo que puede dar como resultado un incremento de la productividad comparado con los sistemas a libre exposición solar, en regiones donde el cultivo debe hacerse bajo sombra (4, 7, 15). La adopción de las nuevas tecnologías en la agricultura requiere de estudios de ordenación de la población, lo que permite maximizar el sistema de producción (14). En este estudio se determinó la densidad de siembra con la cual se obtiene la producción máxima para el café Variedad Castillo® cultivado en un sistema agroforestal, en el departamento de Santander, Colombia.

La Variedad Castillo® es un cruzamiento de Caturra x Híbrido de Timor, que después de sucesivas generaciones de selección de las mejores líneas o componentes, fueron propagados y su semilla se mezcló para la obtención de esta. Castillo® es una variedad compuesta, de porte bajo, ligeramente mayor que Caturra, de ramas largas, hojas grandes, vigorosa, de grano grande, excelente calidad en taza, producción superior a la de Caturra, resistente a la roya del café y adaptada a la zona cafetera de Colombia (1).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio. El estudio se realizó en la finca Las Tapias, ubicada en el municipio de El Socorro (Santander, Colombia), a 06° 25' 29" N y 73° 12' 49" W. Las características del suelo fueron: pH 4,3; N 0,42%; materia orgánica 10,5%; P 16,7 mg.kg⁻¹; K 0,43 cmol₍₊₎.kg⁻¹; Ca 1,39 cmol₍₊₎.kg⁻¹; Mg 0,43 cmol₍₊₎.kg⁻¹; Al 5,2 cmol₍₊₎.kg⁻¹ y suelo de textura arenosa. En la zona se tiene un promedio de precipitación

anual de 1.772 mm, con tres meses secos entre diciembre y marzo, y temperatura media anual de 18,6°C, aproximadamente.

Tratamientos. Los tratamientos estuvieron compuestos por las combinaciones de tres niveles de distancias de siembra del sombrío (**Factor A**) y tres distancias de siembra del café (**Factor B**), como se describen en la Tabla 1.

La numeración completa de los tratamientos se presenta en la Tabla 2.

Diseño experimental. Se empleó un diseño de bloques al azar con arreglo de tratamientos en parcelas divididas, con tres repeticiones, con el Factor A (distancias de siembra del sombrío) como las parcelas principales y el Factor B (distancias de siembra del café) las subparcelas.

Tabla 1. Distancias de siembra del sombrío y del café.

Factor A. Distancias de siembra del sombrío	Factor B. Distancias de siembra del café
A ₁ . 6,0 x 6,0 m: 278 plantas/ha	B ₁ . 1,00 x 1,00 m (10.000 plantas/ha)
A ₂ . 9,0 x 9,0 m: 123 plantas/ha	B ₂ . 1,42 x 1,42 m (5.000 plantas/ha)
A ₃ . 12,0 x 12,0 m: 70 plantas/ha	B ₃ . 2,00 x 2,00 m (2.500 plantas/ha)

Tabla 2. Tratamientos evaluados.

Nº	Tratamiento	Descripción
1	A1 B1	Sombrío a 6 x 6 m y café a 1,00 x 1,00 m
2	A1 B2	Sombrío a 6 x 6 m y café a 1,42 x 1,42 m
3	A1 B3	Sombrío a 6 x 6 m y café a 2,00 x 2,00 m
4	A2 B1	Sombrío a 9 x 9 m y café a 1,00 x 1,00 m
5	A2 B2	Sombrío a 9 x 9 m y café a 1,42 x 1,42 m
6	A2 B3	Sombrío a 9 x 9 m y café a 2,00 x 2,00 m
7	A3 B1	Sombrío a 12 x 12 m y café a 1,00 x 1,00 m
8	A3 B2	Sombrío a 12 x 12 m y café a 1,42 x 1,42 m
9	A3 B3	Sombrío a 12 x 12 m y café a 2,00 x 2,00 m

Material vegetal. De café se empleó Variedad Castillo® general y la especie para sombra fue *Inga edulis* (guamo santafereño). Durante el primer año se estableció el sombrío transitorio con *Tephrosia candida* (tefosia), sembrada a distancias de 1,0 m entre surcos y 0,5 m entre plantas. Tanto el sombrío como el café y el sombrío transitorio se establecieron simultáneamente en el año 2007, con la siguiente secuencia: Trazado y establecimiento del sombrío permanente, trazado y establecimiento del café y trazado y siembra del sombrío transitorio.

Características de las parcelas. En la Tabla 3 se relaciona la información de las parcelas experimentales.

Entre cada tratamiento y cada replicación se dejaron espacios de 9,0 m con el fin de evitar la interferencia en el desarrollo de las

Tabla 3. Detalles de las parcelas experimentales.

Nº	AP	PCP	PCB	PCEP	DSC	ASP	DSS
1	144	160	48	112	10.000	9	278
2	144	72	24	48	5.000	9	278
3	144	40	24	16	2.500	9	278
4	324	352	80	272	10.000	9	123
5	324	160	48	112	5.000	9	123
6	324	112	48	64	2.500	9	123
7	576	616	168	448	10.000	9	70
8	576	280	80	200	5.000	9	70
9	576	160	48	142	2.500	9	70

AP: Área de la parcela (m²); **PCP:** Plantas de café por parcela (total); **PCB:** Plantas de café en bordes por parcela; **PCEP:** Plantas de café efectivas por parcela; **DSC:** Densidad de siembra del café (plantas por hectárea); **ASP:** Árboles de sombrío por parcela; **DSS:** Densidad de siembra del sombrío (plantas por hectárea)

especies de sombrío; para un área total del campo experimental de 1,7 ha.

Prácticas agronómicas

Fertilización. Se basó en un plan de fertilización con fuentes de N, P, K, de acuerdo a los resultados de los análisis de suelos obtenidos para la localidad.

Manejo de arvenses. Se realizó con la frecuencia suficiente, de acuerdo al período climático seco o húmedo, para evitar su interferencia con el cultivo; igualmente, la metodología aplicada fue variable: plateos manuales, selector de arvenses y manejo mecánico en las calles, procurando realizar un Manejo Integrado de Arvenses (MIA).

Manejo integrado de la broca del café (MIB). Se efectuó de acuerdo a las recomendaciones dadas por Benavides y Arévalo (3).

Mantenimiento del componente arbóreo. Se realizaron podas periódicas de los árboles

de sombrío para mantener un porcentaje de sombra cercano al 42,0%, de acuerdo a la localidad.

Variables evaluadas. Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la producción de café se realizaron recolecciones periódicas de café cereza por parcela durante seis cosechas, los registros fueron transformados a kilogramos de café pergamino seco por hectárea, aplicando un factor de conversión 5:1, es decir, 5,0 kg de café cereza para obtener 1,0 kg de café pergamino seco.

Análisis de la información. Se realizaron análisis de varianza para determinar la significancia estadística en la interacción Densidad de siembra del sombrío x Densidad de siembra del café, y pruebas de comparación Tukey al 5,0% bajo el modelo para el diseño experimental utilizado (parcelas divididas), con el propósito de evaluar las diferencias entre medias de los tratamientos. Para determinar la densidad de siembra con la cual se obtiene la máxima producción del café en un sistema agroforestal se efectuaron

análisis de correlaciones, determinando la función de ajuste que en mayor grado explicara esta correlación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de las densidades de siembra del café y del sombrío.

Densidad de siembra del café. Los análisis de varianza a la producción acumulada de seis cosechas indicaron que la interacción Densidad de siembra del sombrío x Densidad de siembra del café fue significativa ($p < 0,05$), es decir, que los factores no tienen efectos independientes y que el nivel de producción está definido por la disponibilidad de luz para el cultivo. Las pruebas de comparación de Tukey al 5%, de la producción acumulada registrada, indican que al establecer el

café a 1,0 x 1,0 m (10.000 plantas/ha), es mayor la producción cuando el sombrío se establece a 9,0 x 9,0 m; bajo esta densidad de siembra del café y con el sombrío plantado a 278 y 70 árboles/ha no hubo diferencias estadísticas.

Para las densidades de siembra del café de 5.000 plantas/ha se presentaron diferencias estadísticas cuando el sombrío se estableció a densidades de 123 árboles/ha, al compararse con la producción obtenida con el sombrío establecido a 12,0 x 12,0 m. Si el café se establece en bajas densidades de siembra (2.500 plantas/ha), la producción es igual bajo cualquier nivel de sombra. En la caficultura, el establecimiento de las variedades adaptadas a las localidades, con ajustes a condiciones particulares, con adecuada nutrición y óptimas densidades de siembra, debe traducirse en altos rendimientos por unidad de área (11).

Tabla 4. Resultado de producción café pergamino seco ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

DSC	Años						Acumulado*
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Distancia de siembra del sombrío a 6,0 x 6,0 m							
10.000	1.379 a	4.461 a	4.025 c	5.053 b	4.609 ab	6.239 a	25.765 b
5.000	605 b	2.714 b	3.238 cd	2.748 dc	3.354 bc	3.605 bc	16.265 cd
2.500	263 b	1.120 c	2.013 d	2.033 de	2.253 c	2.220 c	9.903 e
Distancia de siembra del sombrío a 9,0 x 9,0 m							
10.000	1.515 a	5.014 a	6.773 a	6.406 a	6.233 a	7.022 a	32.963 a
5.000	391 b	2.598 b	4.645 bc	3.587 c	5.171 ab	5.342 ab	21.733 bc
2.500	156 b	1.007 c	2.122 d	1.748 de	3.480 bc	3.656 bc	12.170 de
Distancia de siembra del sombrío a 12,0 x 12,0 m							
10.000	1.398 a	3.891 ab	5.882 ab	3.504 c	3.879 bc	3.894 bc	22.449 b
5.000	367 b	1.104 c	4.177 c	1.831 de	4.159 abc	3.910 bc	15.547 de
2.500	149 b	495 c	2.062 d	1.180 4	3.150 bc	3.029 c	10.065 e
c. v.	0,33	0,19	0,13	0,12	0,20	0,15	0,11

*Registros de producción por años y el acumulado con letras comunes no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DSC. Densidad de siembra del café (plantas/ha)

Producción anual vs. Precipitación (mm).

En este estudio, el año 2010 presentó el período de máxima precipitación (Figura 1); para este año las producciones de café más altas se registraron en los sistemas de siembra de 10.000 plantas/ha, según la prueba de Tukey al 5% (Tabla 4).

En los años 2012 al 2014 hubo una disminución en la precipitación, comparados con los años 2009 al 2011; además, estos cambios en la precipitación estuvieron acompañados de un incremento en la temperatura máxima. Si bien, el comportamiento de la producción fue similar y la mayor producción se obtuvo con 10.000 plantas/ha, los rendimientos acumulados más altos se registraron con el sombrío establecido a 9,0 x 9,0 m (Tabla 4).

Para su máxima expresión en producción, el café requiere zonas con precipitaciones entre 1.800 y 2.000 mm anuales, acompañados de temperaturas entre 19,0 y 21,5°C. Las precipitaciones por debajo de los niveles de 1.450 mm (Figura 1), registradas en los años 2012 a 2014, pudieron haber generado una situación desfavorable para el café establecido con los árboles de sombrío a 12,0 x 12,0 m (la menor densidad de siembra del sombrío evaluada), favoreciendo la producción con un mayor número de árboles por hectárea.

De acuerdo con Arcila (2), en los primeros 30 cm de profundidad del suelo se encuentra el 86% de las raíces absorbentes y un 89,9% de las raíces totales del café; lo que significa que la planta necesita buena disponibilidad de agua y nutrientes. Adicionalmente plantea que una estrategia para reducir el estrés hídrico en el café es incrementar la densidad de siembra, pues se estimula el crecimiento vertical de la raíz obligándola a tomar agua de capas más profundas del suelo.

Densidad de siembra máxima del café.

De acuerdo a la Figura 2, la densidad de siembra del café y del sombrío con las que se obtiene la mayor producción fue de 10.000 plantas/ha con el sombrío establecido a 6,0 x 6,0 m, 9,0 x 9,0 m y 12,0 m x 12,0. Igualmente los resultados indican que hay una respuesta favorable en producción, al incremento en la radiación solar disponible para el cultivo. La producción máxima se alcanza con el café establecido con 10.000 plantas/ha y con el sombrío de *Inga edulis* (guamo santaferense) con 123 árboles/ha. Esto puede deberse a que al incrementar la densidad de siembra del café aumenta el Ca intercambiable, los macronutrientes, el C orgánico, el contenido de humedad del suelo y la colonización de raíces por hongos micorrízicos arbusculares; igualmente a estos resultados se le atribuyen a un mejor control de la erosión, mejoramiento en la gestión de los residuos de la planta y el ciclo de nutrientes, y la disminución de pérdidas por lixiviación, es decir, el aumento de población de árboles de café por unidad de área ha demostrado ser una estrategia de recuperación y mejoramiento de la fertilidad del suelo (10, 12, 13) y un regulador del microclima del cultivo.

Alcanzar altos niveles de producción mediante una caficultura intensiva en sistemas agroforestales (SAF), es factible si el caficultor dispone de los recursos humanos y económicos para el manejo de las plantaciones; una práctica fundamental en el manejo de altas densidades de siembra del café en SAF es el mantenimiento del nivel de sombrío dentro de los rangos óptimos. El café tolera disminuciones hasta del 45% de la radiación solar (5), sin sufrir reducciones en el crecimiento y en el índice de área foliar (IAF), reducciones superiores a este valor ocasionan una menor cobertura del suelo

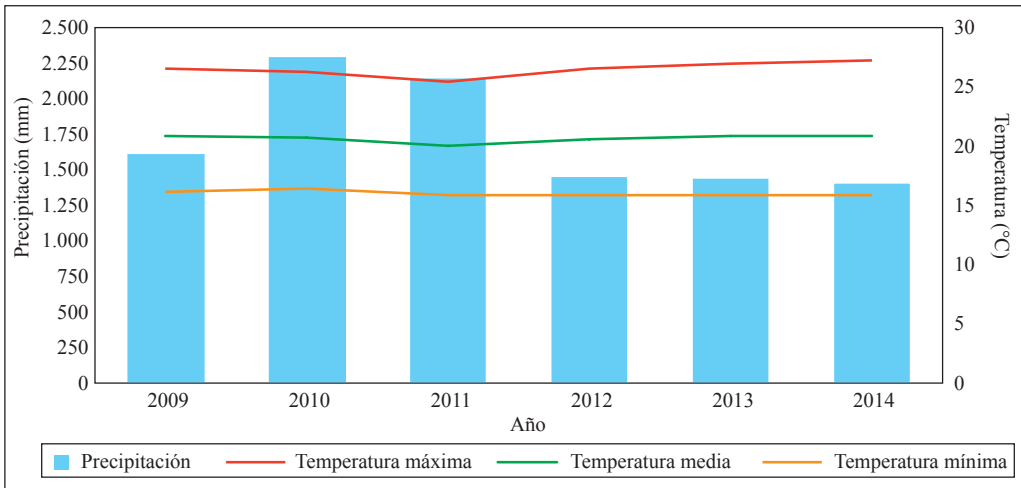


Figura 1. Precipitación, y temperatura máxima, media y mínima promedio anual (2009 a 2014); Estación Alberto Santos, municipio de El Socorro, Santander (Fuente: Anuarios Meteorológicos, Cenicafé 2009 a 2014).

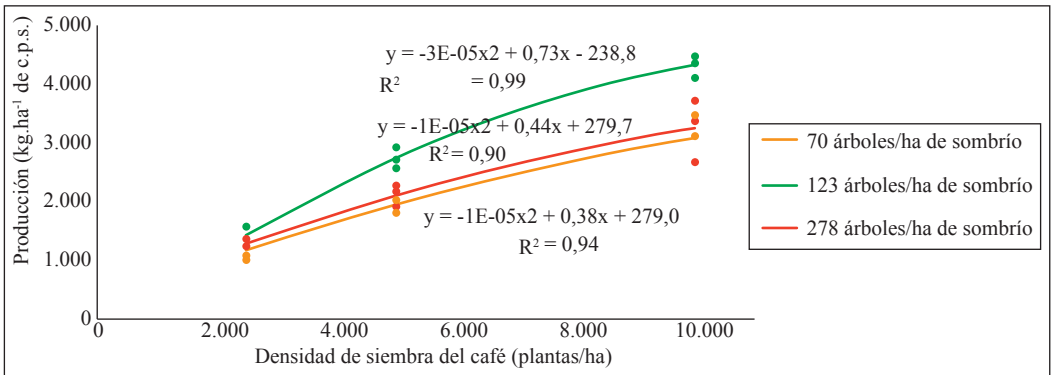


Figura 2. Promedio de producción de café, en tres densidades de siembra, bajo sombrío de *Inga edulis*. Finca Las Tapias, municipio de El Socorro-Santander.

por las plantas de café y como consecuencia una disminución en el crecimiento y en la producción (3). Adicionalmente, bajo estos sistemas de producción es fundamental la implementación de ciclos cortos de renovación, los planes de fertilización basados en los resultados de análisis de suelos, el manejo oportuno de broca del café y arvenses, entre otros.

En conclusión, la producción del café se ve afectada por la baja disponibilidad de agua en periodos secos y la baja cobertura arbórea en estos periodos, sometiéndolo a una condición de estrés hídrico; situación que puede corregirse incrementado la densidad de siembra del café y del sombrío. Éstas pueden ser estrategias de adaptación de los cultivos a la variabilidad climática, específicamente para eventos El Niño.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan los más sinceros agradecimientos al señor José Ignacio Valenzuela Ramírez, a su esposa y sus hijos, propietarios de la Finca Las Tapias, ubicada en la vereda Hoya de San José, municipio del Socorro, departamento de Santander, por su dedicación, entrega y responsabilidad en el establecimiento, desarrollo de la investigación y manejo de la información.

LITERATURA CITADA

1. ALVARADO A., G.; POSADAS., H.E., CORTINA G., H.A. Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. Manizales : Cenicafé, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 337).
2. ARCILA P., J. Densidad de siembra y productividad de los cafetales. p. 131-147. En: ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.F.; MORENO B., A.M.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Manizales : CENICAFÉ, 2007. 309 p.
3. BENAVIDES M., P.; ARÉVALO, M. Manejo integrado: Una estrategia para el control de la broca del café en Colombia. Cenicafé 53(1):39-48. 2002.
4. RIGHI, C.A.; SILVEIRA B., M.; PEREIRA L., A.M.; RODRIGUES P., C.; DOURADON, D.; FAVARIN, J.L. Measurement and simulation of solar radiation availability in relation to the growth of coffee plants in an agroforestry system with rubber trees. Revista árvore 31(2):195-207. 2007.
5. DAMATTA, F.M.; RONCHI, C.P.; MAESTRI, M.; BARROS, R.S. Ecophysiology of coffee growth and production. Brazilian journal of plant physiology 19(4):485-510. 2007.
6. FARFÁN V., F.F.; JARAMILLO R., A. Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región. Manizales : Cenicafé, 2009. 8 p. (Avances Técnicos No. 379).
7. HALL, A.J. Los componentes fisiológicos del rendimiento de los cultivos. Facultad de agronomía universidad de Buenos Aires 1(1):73-86. 1980.
8. HERGOUALC'H, K.; SKIBA, U.; HARMAND, J.M.; HÉNAULT, C. Fluxes of greenhouse gases from andosols under coffee in monoculture or shaded by *Inga densiflora* in Costa Rica. Biogeochemistry 89(3):329-345. 2008.
9. LOPES S., E.; SCALCO, M.E.; GUIMARÃES, R.J.; COLOMBO, A.; RAMALHO DE M., A.; MESQUITA DE C., C.H. Production functions of irrigated coffee under different planting densities. Coffee science 8(2):149-157. 2013.
10. LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A.; HALL, A.E. Agricultural productivity. Annual review of plant physiology 22:431-468. 1971.
11. PARREIRAS P., S.; FERREIRA B., G.; PEREIRA B., D.; MOREIRA S., F.; GUIMARÃES, R.J. Growth, productivity and bienniality of coffee plants according to cultivation spacing. Pesquisa agropecuária brasileira 46(2):152-160. 2011.
12. PAULO, E.M.A.; FURLANI, E.B., JR. Yield performance and leaf nutrient levels of coffee cultivars under different plant densities. Scientia agricola 67(6):720-726. 2010.
13. PAVAN, M.A.; DIAS C., C.J.; SIQUEIRA, R.; ANDROCIO L.F., A.; COLOZZI F., A.; BALOTA, E.L. High coffee population density to improve fertility of an oxisol. Pesquisa agropecuária brasileira 34(3):459-465. 1999.
14. SAKAI, E.; AGNELLOS B., E.A.; CARVALHOS, J.M. DE; MATOS P., R.C. DE. Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with and without drip irrigation. Agricultural water management 148(31):16-23. 2015.
15. SAKAI, E.; BARBOSAJ., E.A.; SILVEIRA, A.; PIRES, R. *Coffea arabica* (cv Catuai) production and bean size under different population arrangements and soil water availability. Engenharia agrícola 33(1):145-156. 2013.
16. SILES, P.; HARMAND, J.M.; VAAST, P. Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. Agroforestry systems 78(3):269-286. 2010.