

Respuesta de *Coffea arabica* L. a la aplicación de abonos orgánicos y biofertilizantes

Daniela Arisbet Canseco Martínez¹
Yuri Villegas Aparicio²
Ernesto Castañeda Hidalgo^{2§}
José Cruz Carrillo Rodríguez²
Celerino Robles³
Gisela Margarita Santiago Martínez³

¹Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas-Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO)-Tecnológico Nacional de México (TecNM). (daniela.canmar@outlook.com). ²Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca-Tecnológico Nacional de México. Ex-Hacienda de Nazareno s/n. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. Tel. 951 5170788. CP. 71230. (yuriva1968@gmail.com) ³Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Instituto Politécnico Nacional Unidad Oaxaca (CIIDIR-IPN). Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. CP 71230. (crobles.38@yahoo.it; gissant68@hotmail.com).

§Autor para correspondencia: ernesto.ch@voaxaca.tecnm.mx.

Resumen

El café orgánico tiene una alta demanda en el mercado internacional y su cultivo se aprovecha como eje de desarrollo comunitario. En Oaxaca se implementan alternativas ecológicas de forma sostenible para la producción de café. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de abonos orgánicos y biofertilizantes en la dinámica del crecimiento de *C. arabica* L. en plantas establecidas en campo var. Typica renovadas tres años atrás. El estudio se realizó en la finca El Nueve, Santa María Huatulco, Oaxaca, durante 2018. Los abonos orgánicos evaluados fueron: Lombricomposta (L), Natur-abono[®] (Na), Bio-Orgamin (Bo) y guano de murciélago (Gm). Los biofertilizantes fueron a base de *Azotobacter* sp. (Az) y *Glomus cubense* (Gc). Además de sus combinaciones y un testigo (T), para un total de 17 tratamientos. Los datos se sometieron a un análisis de varianza y pruebas Tukey. Las variables evaluadas fueron altura de la planta (Ap), diámetro del tallo (Dt), índice de esbeltez (IE) y número de nudos (Nn). Los cafetos respondieron positivamente a los abonos orgánicos y biofertilizantes, obteniendo diferencias significativas entre tratamientos con un nivel de significancia ($p \leq 0.05$), para Ap, con la combinación de Gm+L+Gc se obtuvieron alturas de 216 cm. Para Dt, el T mostró el mayor valor con 3.16 cm. En cuanto a Nn, la combinación de Gm+L+Gc generó mayor número con 56.33 nudos. El uso de abonos orgánicos y biofertilizantes en combinación es indispensable para el buen crecimiento de los cafetos en plantaciones renovadas.

Palabras claves: *Azotobacter* sp., *Glomus cubense*, Bio-Orgamín, guano de murciélago.

Recibido: marzo de 2020

Aceptado: agosto de 2020

Introducción

El café (*Coffea arabica* L.) se cultiva en más de 80 países de América Latina, África y Asia. Es uno de los productos agrícolas más importante en el mundo en términos de producción, valor comercial, económico y social para los actores que participan en la cadena agroproductiva y alimentaria (Coutiño *et al.*, 2017). Se introdujo a México alrededor de 1790 (Medina *et al.*, 2016) y en los últimos años ha disminuido la producción y en 2016 ocupó la posición número 11, que representa 2.1% de la producción mundial (FIRA, 2018) es el octavo productor mundial de café (OIC, 2014).

La producción depende de la fuerza de trabajo familiar de los pequeños productores bajo un manejo tradicional con el uso de viveros rústicos para la producción de plántulas, plantación bajo sombra, podas, etc. (SAGARPA, 2018). Existen más de 500 000 caficultores en 12 estados del país, donde 90% de ellos poseen superficies menores a 5 ha (Flores, 2015).

A nivel nacional se cultivan 700 000 ha, siendo seis estados los que concentran 97.42% de la oferta total; para el ciclo 2017-2018 destacan los estados de Chiapas (40.7%), Veracruz (24.6%), Puebla (15.9%), Oaxaca (8.27%), Guerrero (4.56%) e Hidalgo (3.26%) (SIAP, 2018). Oaxaca uno de los estados donde se han desarrollado diversas organizaciones que comercializan café en nichos de mercado como la producción orgánica, comercio justo, cafés ecológicos y café de sombra (CEDRSSA, 2018).

Lo anterior, es gracias a las condiciones ideales para el cultivo, con zonas montañosas, siendo una plantación con un periodo pre-productivo de aproximadamente tres años y una vida productiva de hasta 40 años, además, se cultiva en altitudes que oscilan entre los 900 y 1 500 m, con temperaturas de 16 a 22 °C y precipitaciones pluviales de 750 a 3 000 mm (Espinosa *et al.*, 2016).

A pesar de ello, la producción y los rendimientos de café se han visto afectados en los últimos años hasta 50%. De acuerdo con la SAGARPA (2017), las principales causas engloban los precios en el mercado mundial, la avanzada edad de los cafetales y el bajo contenido de nutrientes en los suelos de cultivo. Por otro lado, el abandono y descuido de las plantaciones ante los bajos precios, alta incidencia de plagas y enfermedades que afectan la calidad y rendimiento, en especial se manifiesta la presencia de broca (*Hypothenemus hampei* Ferrari) y la roya (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) (Reyes *et al.*, 2018).

A pesar del efecto que causan, la aplicación de paquetes tecnológicos para su prevención y control es casi nula, 9.1% de las unidades utilizan fertilizantes químicos, 2.3% usa semilla mejorada, 2.5% abonos orgánicos, 7% herbicidas, 5% insecticidas y otro tipo de tecnología 0.1% (SAGARPA, 2018).

Lo anterior, conlleva a considerar alternativas para la producción de café con mayor posibilidad de implementar alternativas ecológicas y sostenibles (Mosquera *et al.*, 2016). El enfoque se sustenta en la utilización de las prácticas agroecológicas; así como, el uso de técnicas básicas usadas en la agricultura orgánica, las cuales son de vital importancia (Aguilar, 2014). Dentro de ellas se destaca la incorporación de abonos orgánicos al suelo para mejorar sus características físicas, químicas, biológicas y sanitarias, para incrementar la fertilidad de este (Boudet *et al.*, 2015).

Los beneficios generan crecimiento vigoroso de raíces, follajes, floración y fructificación, lo que permite a las plantas una mayor resistencia contra plagas y enfermedades y a su rápida recuperación después de la cosecha (Aguilar *et al.*, 2016). Además, se ha logrado en la actualidad la inserción de biofertilizantes, que al contener microorganismos vivos o latentes (hongos y bacterias, solos o combinados) y al ser utilizados en los cultivos, estimulan crecimiento e incremento de rendimientos, y por ende, la producción de los cafetales (Aguado, 2012).

Así como, aumentan los procesos de absorción y translocación de nutrientes en las plantas; dado que estos insumos permiten mejorar el desarrollo del cultivo cuando interactúan con las plantas, creando simbiosis entre sí (Moises *et al.*, 2015). Por lo que el objetivo propuesto fue evaluar el efecto de diferentes abonos orgánicos y biofertilizantes en variables morfológicas de *C. arabica* L. establecidas en campo.

Materiales y métodos

Características del área de estudio

El estudio se realizó en la finca cafetalera El Nueve, ubicada en el municipio de Santa María Huatulco, Oaxaca, México, localizada en los márgenes de la cuenca del río Copalita en las coordenadas 15° 55' 57" latitud norte, 96° 17' 08" longitud oeste, a una altitud de 1 250 m, precipitación anual promedio de 1 364 mm y una temperatura anual de 21 °C.

La finca cuenta con una superficie de 200 ha, 160 ha poseen una vegetación de selva mediana subperennifolia y los 40 restantes son de café orgánico bajo un sistema agroforestal (INEGI, 2019). La finca está incluida administrativamente en el Sistema-Producto Café y está asociada a la Confederación de Cafetaleros Oaxaqueños, AC lo que le permite exportar café de calidad y diferenciados (Figura 1).

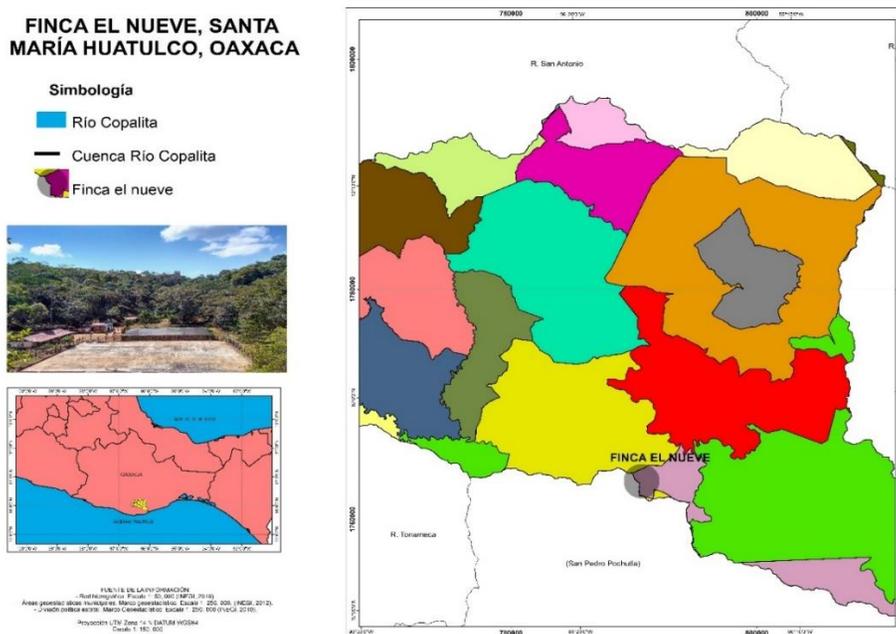


Figura 1. Localización de la finca El Nueve, Santa María Huatulco, Oaxaca.

Para el establecimiento el experimento se utilizó una plantación de cafetos variedad Típica, seleccionando un lote de cafetos establecidos bajo un sistema agroforestal tradicional bajo sombra regulada en terrenos con una gran diversidad de árboles, en especial del género *Inga*, con pendientes promedios de 30%, con fertilización orgánica, cafetos de tamaño estandarizado, follaje abundante, buen estado fitosanitario y renovado cuatro años atrás.

Anterior a la aplicación de los tratamientos se tomaron muestras de suelo de cuatro sitios de la zona experimental, posición alta (1 297 msnm) y baja (1 284 msnm) de la pendiente. De acuerdo a lo marcado en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000), se determinó la textura por el método de Bouyocus, pH mediante potenciometría en agua (relación 1:2), la conductividad eléctrica (CE) mediante el método conductímetro, el contenido de materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black, humedad por el método gravimétrico; determinación de fósforo (P) por Bray y Kurtz 1, bases intercambiables de calcio y magnesio (Ca, Mg) por acetato de amonio 1N, pH de 7 como solución extractante; acidez intercambiable por el procedimiento de cloruro de potasio y nitrógeno total (Nt) mediante el uso de la fórmula: $NT=0.1105CO + 0.0116$, con ayuda de la obtención del porcentaje de carbono orgánico, por lo que en la formula se sustituyó el valor de CO por el valor en porcentaje de cada muestra ya analizada.

Se utilizó un diseño completamente al azar. Se establecieron un total de 17 tratamientos con tres repeticiones, donde una planta representa una repetición. Los abonos orgánicos utilizados se diluyeron en 8 L de agua, dejándose reposar por dos horas para su posterior aplicación al pie de la planta (*drench*) haciendo una media luna o un semicírculo en la parte de arriba de la pendiente. Los biofertilizantes se diluyeron en 1 L de agua aplicándose al instante bajo el mismo esquema. Para la preparación de los tratamientos se utilizaron las mismas dosis individuales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Listado de tratamientos en estudio.

Tratamiento	Abonos orgánicos y biofertilizantes	Dosis planta ⁻¹
T1	T	Sin aplicación
T2	L	2 kg en 8 L
T3	Na	2 kg en 8 L
T4	Bo	2 kg en 8 L
T5	Gm	2 ml L ⁻¹
T6	Az	4 ml L ⁻¹
T7	Gc	10 g L ⁻¹
T8	Az+Gc	4 ml +10 g L ⁻¹
T9	Gm+L	2 ml+2 kg +8 L
T10	Gm+Az	2 ml+4 ml L ⁻¹
T11	Gm+Gc	2 ml+10 g L ⁻¹
T12	L+Az	2 kg +4 ml+ 8 L
T13	L+Gc	2 kg +10 g + 8 L
T14	Gm+Az+Gc	2 ml+4 ml +10 g+ 8 L
T15	Gm+L+Az	2 ml +2 kg +4 ml + 8 L
T16	Gm+L+Gc	2 ml +2 kg +10 g + 8 L
T17	L+Az+Gc	2 kg +4 mL +10 g+ 8 L

Los productos utilizados se encuentran certificados como productos orgánicos por la agencia certificadora CERTIMEX producto orgánico CMX-276-2006-48-48-48 y fueron adquiridos en el Centro Estatal de Productos Orgánicos de Oaxaca (CEFO).

Variables evaluadas

La aplicación de los tratamientos se inició en los primeros días del mes de marzo y culminaron en el mes de abril de 2019. Para la evaluación de las variables de respuesta se realizaron cuatro mediciones a intervalos de 90 días, iniciando un mes después de la primera aplicación (dda) de los tratamientos. Las variables evaluadas fueron: altura de la planta (Ap) (cm) y diámetro del tallo (Dt) (cm), al inicio de la producción se registró el número de nudos totales por planta (Nn).

Análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar. Los datos de las variables medidas se sometieron a un proceso de verificación de homogeneidad de varianzas y normalidad de errores (Montgomery, 2005). Cuando las pruebas fueron negativas se realizaron las transformaciones correspondientes a $\log_{10}(x)$ para cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas (Steel y Torrie, 1988). Los datos fueron sometidos a análisis de varianzas y comparación de medias (Tukey, 0.05). El software estadístico utilizado fue el SAS/STAT® 9.3 (SAS Institute Inc. 2011).

Resultados y discusión

Propiedades fisicoquímicas del área de estudio experimental

Se realizaron análisis físico-químicos de los suelos en el sitio donde se estableció el experimento en cuatro puntos distintos, dos para cada zona de gradiente altitudinal, alta y baja. De acuerdo con los criterios de la NOM-021-SEMARNAT-2000, la composición textural de los suelos en el área de estudio varió sin seguir un patrón definido entre arenosa a franco-arenosa, lo que indica que a pesar de las lluvias no existen problemas por los excesos de agua y que existe un fuerte proceso de lavado de nutrientes y susceptibilidad a la erosión por lluvia.

Estas texturas son similares a las reportadas por Contreras *et al.* (2019), quienes encontraron texturas franco-arenosa y arenosa en un estudio de prácticas agroecológicas y su influencia en la fertilidad del suelo en una comunidad cafetalera del estado de Puebla. Asimismo, Gómez *et al.* (2018), mencionan que en suelos con alta presencia de arenas se propicia un drenaje rápido del agua de lluvia. Cabe señalar que, para obtener una producción de café de forma sustentable, el suelo debe tener una textura arcillosa (Aranda, 2010).

De acuerdo con Palma *et al.* (2007), los suelos no consolidados de textura fina y media tienen una fuerte alteración y lavado y son considerados como terrenos viejos sometidos a procesos de erosión. El valor del pH varió en un rango de 4.43 a 4.92, siendo más ácido en las partes altas, lo que es lógico debido al arrastre y lixiviación de materiales por efecto de las lluvias.

De acuerdo con la norma NOM-021-RECNAT-2000, los suelos con valores <5 se clasifican como suelos fuertemente ácidos. Resultados similares reportan Rodríguez *et al.* (2016), al evaluar variabilidad espacial de los atributos químicos del suelo en el rendimiento y calidad de café, dónde reportan un pH de 4.73. Duicela (2011), reporta que los suelos aptos para cultivo de café deben tener un pH ligeramente ácido entre 5.5 y 6.5 e indica que valores de acidez de <5 o por encima de 6.5 dificulta la nutrición de los cafetales.

Los valores de la CE encontrados fueron de 0.04-0.06, lo que significa que se encuentran en el rango de una concentración <1 , por lo que se clasifican como suelos con efectos despreciables de la salinidad. Los resultados obtenidos tienen similitud con los reportados por Gómez *et al.* (2018), donde mencionan que en suelos que se produce *C. arabica* L. en Chiapas, tienen una CE de 0.02 a 0.09 dS m^{-1} . Aranda (2010), indica que valores de CE bajos favorecen los cultivos de café. Además, el café no tolera suelos salinos, por lo que al escasearse las lluvias aumenta la concentración de sales.

Los valores de MO varían en el rango de 2.46 a 5.9%, dependiendo de la gradiente de la pendiente, siendo bajo en las partes altas y aumentando para las partes bajas. Lo que clasifica a los suelos de con valores medios para los sitios altos y con alto contenido para los sitios bajos, al ser suelos no volcánicos. Noriega *et al.* (2014), reporta promedios de MO en suelos cafetaleros de 5.14%, lo cual concuerda con datos obtenidos en el estudio. Cabon (2015); Thériez (2015), mencionan que los cafetales con árboles de sombra aportan mayor cantidad de MO.

En cuanto a los valores altos de MO en las partes bajas de la finca se explica qué al estar en la posición baja de la pendiente, es un sitio receptor de materiales orgánicos y minerales, presentando buen estado de conservación y baja intensidad de la erosión (Zavala *et al.*, 2014). A su vez Noriega *et al.* (2014), mencionan que valores medios y altos de MO, la acidez podría estar limitando al desarrollo de las bacterias y limitando el proceso de mineralización.

La humedad del suelo tuvo valores de $\leq 5\%$, lo que indica una baja capacidad para retener la humedad, por lo que las plantas pueden sufrir deficiencias en caso de no presentarse lluvias, caso que ocurre en los meses de marzo y abril, debido a que la temporada de lluvias, la que generalmente inicia a principios de mayo. Al respecto, Duarte (2016) señala que los suelos arenosos retienen humedad entre 7.5 y 20.5%. Esta característica del suelo está en función de otros factores como la textura y estructura, además son suelos poco profundos y con altas pendientes.

Esta capacidad representa la reserva de las plantas para absorber las cantidades necesarias para sus ciclos energéticos y de los nutrientes (Villareyna, 2016). Los elementos nutritivos que el café requiere en mayor cantidad son: N, P y K, y en menores cantidades: Ca, Mg, S, Cl, Zn, Mn, B y Cu. La carencia de alguno de estos nutrimentos afecta su crecimiento y desarrollo (Duicela, 2011). Se obtuvieron porcentajes entre los valores de 0.17-0.39, considerados altos (0.5-0.25) y muy altos (0.25) en el contenido de N total, debido posiblemente a los altos contenidos de materia orgánica. Contreras *et al.* (2019), en su estudio de prácticas agroecológicas en cafetales reporta valores de 0.22%, a su vez menciona altos rendimientos y productividad.

Sin embargo, son valores considerados bajos comparados con los que reportan Larios *et al.* (2014), quienes encontraron valores de 0.5% en sistemas con prácticas agroecológica y 0.35% en sistemas convencionales. Los contenidos de P encontrados fueron $<15 \text{ mg kg}^{-1}$, valores bajos respecto a los

requeridos por el cultivo, coincidiendo con Galindo (2013), quien reportó que, en suelos cafetalero de Santander Colombia, los niveles son muy bajos, $<0.4 \text{ mg kg}^{-1}$. Roger *et al.* (2014), indican que este elemento tiene poca movilidad en el suelo.

Los contenidos de Ca fueron prácticamente despreciables, ubicándose en el rango de <2 , clasificados como de muy baja concentración para este elemento. Gómez *et al.* (2018), mencionan que en suelos en los que se produce café encontraron valores bajos de 4.78 mg kg^{-1} , valores muy superiores a los reportados, lo que indica que las plantas pueden sufrir por las deficiencias del elemento en el suelo.

El Mg presenta niveles bajos, <0.5 clasificándose en una clase muy baja. Jaramillo (2002), indica que bajos contenidos de N, Ca, P, Mg, se ven influenciados por lixiviación, que se intensifica si las precipitaciones son intensas y prolongadas. Asimismo, Silva *et al.* (2013), indican que los suelos con pH ácidos (< 5.5) bloquean la absorción del P, Ca y Mg. Debido a que los suelos en zonas cafetalera presentan valores bajos, es por ello que se recomienda el uso de micorrizas, que mejora la absorción de agua, ion fosfato y nutrientes como el N, K, Ca y Mg. Así como la incorporación de roca fosfórica, fuente mineral y de abonos orgánicos (López *et al.*, 2019) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Propiedades fisicoquímicas de los sitios del área de estudio.

Puntos de muestreo	Textura	pH	CE (dS m^{-1})	MO (%)	Humedad (%)	N (%)	P (mg kg^{-1})	Ca (cmol kg^{-1})	Mg (cmol kg^{-1})
Sitio 1 parte alta	Areno-francosa	4.36	0.06	2.46	5.09	0.33	2.25	0.00087	0.0023
Sitio 2 parte alta	Arenosa	4.46	0.04	3.34	2.69	0.22	2.05	0.0016	0.0013
Sitio 1 parte baja	Areno-francosa	4.92	0.05	2.6	5.18	0.17	nd	0.0025	0.00067
Sitio 2 parte baja	Franco-arenosa	4.43	0.04	5.90	5.09	0.39	2.08	nd	nd

nd= no detectable.

Altura de planta

Los resultados de la evaluación muestran que en todos los tratamientos evidenciaron diferencias significativas con el transcurso del tiempo. Al final de la evaluación, el máximo valor de Ap fue de 216 cm para el tratamiento con la combinación de Gm+L+Gc.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Plaza *et al.* (2015), donde encontraron que la aplicación de abonos orgánicos influye en el comportamiento agronómico y productivo de plantaciones de *Coffea canephora*, al reportar alturas de plantas de ≤ 220 cm para plantas de portes bajos, valores de ≤ 300 cm en plantas de porte medio y >301 cm para plantas de porte alto, evaluadas en un lapso de tiempo de ocho meses. Los valores más bajos fueron para los tratamientos L (120 cm), L+Az (140 cm), L+Gc (133 cm) (Cuadro 3).

La combinación de abonos orgánicos y biofertilizantes genera crecimiento en las plantas. Dichos resultados coinciden con Román *et al.* (2013), donde reportan que, entre mayor cantidad de materia orgánica, mayor cantidad microbiana ya que al aplicar abonos orgánicos, existe mayor posibilidad de liberación de nutrientes y al ser aplicados en el suelo continúa el proceso de descomposición.

Cuadro 3. Respuesta de los abonos orgánicos y biofertilizantes a través del tiempo en la altura.

Bioproductos	Altura			
	90 dda	180 dda	270 dda	360 dda
T	182.33 ±13.01 ab	188.67 ±9.01 ab	194 ±6.55 ab	199.3 ±5.85 a
L	104.33 ±17.24 c	111.67 ±13.42 c	116 ±13.07 c	120 ±13.07 a
Na	134.67 ±5.5 abc	139.33 ±4.5 abc	143.67 ±4.04 abc	147.7 ±4.04 a
Bo	135 ±22.91 abc	139.33 ±23.79 abc	143 ±23.25 abc	147 ±23.59 a
Gm	149 ±12.76 abc	153.67 ±12.34 abc	158.33 ±11.93 abc	162 ±11.78 a
Az	167.33 ±46.69 abc	171.33 ±46.49 abc	180.67 ±51.85 abc	184 ±49 a
Gc	167.33 ±16.16 abc	172 ±17.08 abc	177.67 ±16.62 abc	182.7 ±15.63 a
Az+Gc	152.33 ±28.04 abc	156 ±27.73 abc	160 ±27.73 abc	163.3 ±27.13 a
Gm+L	162.33 ±37.09 abc	166.33 ±36.46 abc	170.33 ±36.46 abc	174.3 ±36.46 a
Gm+Az	145 ±6.24 abc	149 ±5.29 abc	153 ±5.29 abc	157 ±5.29 a
Gm+Gc	134.67 ±16.16 abc	137.67 ±16.56 c	141.67 ±16.56 abc	145.7 ±16.56 a
L+Az	129.33 ±14.74 c	132.67 ±15.14 c	136.33 ±14.57 c	140.7 ±14.36 a
L+Gc	122.33 ±7.5 c	126 ±7 c	130 ±7 c	133 ±6.55 a
Gm+Az+Gc	148.67 ±27.6 abc	151.33 ±25.65 abc	154.67 ±25.1 abc	157.7 ±25.1 a
Gm+L+Az	144.33 ±33.54 abc	148.33 ±33.54 abc	152 ±33.86 abc	155.7 ±32.29 a
Gm+L+Gc	205.67 ±23.62 a	209.33 ±23.24 a	213 ±22.86 a	216.7 ±22.5 a
L+Az+Gc	135.33 ±23.24 abc	139.33 ±23.24 abc	143.33 ±23.24 abc	480.3 ±592.33a
CV	3.06	2.97	2.89	6.5

dda= días después de la aplicación de los abonos orgánicos y biofertilizantes: T= testigo; L= lombricomposta; Na= Natur-Abono®; Bo= Bio-Orgamín; Gm= guano de murciélago; Az= *Azotobacter* sp.; Gc= *Glomus cubense*. Promedios con la misma letra por columna no difieren significativamente (Tukey, $p < 0.05$). Se incluye la media ±error estándar. CV= coeficiente de variación. ** = altamente significativo ($p \leq 0.01$); ns= no significativo.

Generalmente los abonos orgánicos usados como sustrato para la producción de plantas constituyen alternativas agroecológicas pertinentes, ya que estos en combinación con el suelo, favorecen las propiedades físicas, químicas y biológicas del sustrato y a un adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas (Aguilar *et al.*, 2017). Pérez *et al.* (2002), indican que la aplicación de HMA en combinación con Az tienen un efecto positivo en crecimiento y desarrollo en plantación.

Diámetro del tallo

Se encontró que a partir de los 180 y hasta los 360 dda, existen diferencias significativas entre tratamientos. El mayor Dt encontrado fue de 3.16 cm para T, muy diferentes a las combinaciones de abonos y biofertilizantes, que fueron los que tuvieron los menores diámetros, Gm+Az (2.3 cm), Gm+Gc (2.23 cm), L+Gc (2.16 cm) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Respuesta de los abonos orgánicos y biofertilizantes a través del tiempo en la variable diámetro del tallo.

Bioproductos	Diámetro (cm)			
	90 dda	180 dda	270 dda	360 dda
T	2.16 ±0.28 a	2.6 ±0.17 a	2.83 ±0.15 a	3.16 ±0.15 a
L	1.6 ±0.17 a	1.86 ±0.11 ab	2.13 ±0.15 ab	2.36 ±0.11 ab
Na	1.96 ±0.05 a	2.26 ±0.05 ab	2.5 ±0 ab	2.8 ±0 ab
Bo	1.9 ±0.17 a	2.26 ±0.25 ab	2.53 ±0.25 ab	2.76 ±0.25 ab
Gm	1.76 ±0.25 a	2 ±0.2 ab	2.26 ±0.25 ab	2.5 ±0.2 ab
Az	1.73 ±0.25 a	2 ±0.26 ab	2.2 ±0.26 ab	2.5 ±0.26 ab
Gc	7.1 ±9.44 a	1.9 ±0.17 ab	2.16 ±0.15 ab	2.43 ±0.11 ab
Az+Gc	1.26 ±0.46 a	1.83 ±0.57 ab	2.1 ±0.6 ab	2.43 ±0.6 ab
Gm+L	2.1 ±0.17 a	2.36 ±0.11 ab	2.63 ±0.15 ab	2.93 ±0.11 ab
Gm+Az	1.6 ±0.17 a	1.83 ±0.15 ab	2.1 ±0.17 ab	2.3 ±0.17 b
Gm+Gc	1.5 ±0 a	1.76 ±0.05 b	2.03 ±0.05 ab	2.23 ±0.11 b
L+Az	1.76 ±0.25 a	2.1 ±0.3 ab	2.33 ±0.35 ab	2.63 ±0.35 ab
L+Gc	1.36 ±0.23 a	1.6 ±0.17 b	1.86 ±0.15 b	2.16 ±0.15 b
Gm+Az+Gc	1.83 ±0.28 a	2.1 ±0.34 ab	2.3 ±0.34 ab	2.53 ±0.28 ab
Gm+L+Az	2 ±0.5 a	2.26 ±0.55 ab	2.5 ±0.5 ab	2.73 ±0.5 ab
Gm+L+Gc	2.1 ±0.17 a	2.36 ±0.11 ab	2.6 ±0.17 ab	2.9 ±0.17 ab
L+Az+Gc	1.73 ±0.25 a	1.96 ±0.2 ab	2.26 ±0.2 ab	2.5 ±0.17 ab
CV	61.17	18.21	14.61	11.42

dda= días después de la aplicación de los abonos orgánicos y biofertilizantes; T= testigo; L= lombricomposta; Na= Natur-Abono®; Bo= Bio-Orgamín; Gm= guano de murciélago; Az= *Azotobacter* sp.; Gc= *Glomus cubense*. Promedios con la misma letra por columna no difieren significativamente (Tukey, $p < 0.05$), se incluye la media \pm error estándar; CV=coeficiente de variación. **= altamente significativo ($p \leq 0.01$); ns= no significativo.

Dichos resultados coinciden con Plaza *et al.* (2015), quienes encontraron diferencias significativas en Dt al evaluar abonos orgánicos en café con valores de ≤ 3 cm, lo cual indica que se tiene que asegurar un buen crecimiento vegetativo para obtener altos niveles de producción. Al respecto, Adriano *et al.* (2011), mencionan en su investigación en biofertilización que existe una interacción mutualista en HMA, la raíz de las plantas y Az. Cilas *et al.* (1998), indican que los rasgos morfológicos, diámetro del tallo, altura de planta y número de ramas primarias, están correlacionados genéticamente con el rendimiento. Casique *et al.* (2018), mencionan que el Dt es un indicador que revela el comportamiento de la altura y definen la producción de las plantas.

Número de nudos

Para esta variable la aplicación de los tratamientos no tuvo el efecto esperado, es decir, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en ninguna evaluación ($p \geq 0.05$). Se le atribuye a que el cultivo posiblemente tenía formada la estructura reproductiva desde el año anterior; sin embargo, el valor más alto lo obtuvo la combinación de dos abonos orgánicos y un biofertilizantes, Gm+L+Gc con 56.33 Nn.

Es evidente que al encontrarse un mayor Nn, el número de frutos es mayor y por ende mayores rendimientos (Cascante y Furcal, 2018). El Na obtuvo el menor Nn con 12.33. Asimismo, dichos resultados repercuten en las condiciones climáticas de cada lugar, por lo que al haber aumento de lluvias mayor probabilidad de pérdidas de nudos en el momento de su formación y defoliados de la cosecha anterior, además los nudos productivos varían cada año al extremo de la bandola (Duarte, 2016) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Respuesta de los abonos orgánicos y biofertilizantes al número de nudos tallo.

Tratamientos	Número de nudos			
	30 dda	90 dda	150 dda	210 dda
T	6 ±8.66 a	8.66 ±6.5 a	11.33 ±5.5 a	35.67 ±16.86 a
L	2.66 ±2.08 a	5 ±0 a	9 ±4.35 a	15 ±2.64 a
Na	4 ±2.64 a	6.66 ±2.88 a	13.67 ±6.5 a	12.33 ±4.5 a
Bo	4.33 ±3.05 a	8.33 ±0.57 a	12 ±1.73 a	19 ±5.56 a
Gm	5 ±3 a	8.66 ±2.3 a	19 ±10.58 a	30.33 ±10.4 a
Az	7 ±1 a	10.66 ±1.15 a	17.33 ±4.16 a	41.67 ±28.93 a
Gc	3.66 ±2.08 a	10 ±1 a	36.67 ±21.22 a	49 ±15.39 a
Az+Gc	3.66 ±2.08 a	8.33 ±1.52 a	23.33 ±19.73 a	35.33 ±23.18 a
Gm+L	8.66 ±2.08 a	13 ±1 a	17.67 ±0.57 a	16.33 ±9.71 a
Gm+Az	7 ±2.64 a	11.33 ±3.05 a	25.33 ±15.37 a	33.33 ±3.51 a
Gm+Gc	4.66 ±4.04 a	9.33 ±4.5 a	24.33 ±20.25 a	33 ±9.64 a
L+Az	9.66 ±6.65 a	16.66 ±9.23 a	40 ±24.57 a	43.67 ±40.5 a
L+Gc	5.66 ±07.23 a	8.66 ±7.23 a	15.67 ±16.77 a	16.67 ±19.34 a
Gm+Az+Gc	4 ±2.64 a	7.33 ±6.11 a	15.33 ±12.09 a	27 ±10.14 a
Gm+L+Az	6 ±3 a	10 ±8.66 a	18.33 ±10.21 a	26.67 ±7.76 a
Gm+L+Gc	8.66 ±0.57 a	13 ±3 a	20 ±9.53 a	56.33 ±18.58 a
L+Az+Gc	14 ±14.73	17.33 ±17.03 a	22 ±18.52 a	29.33 ±20.55 a
Cv	85.58	60.34	62.25	57.14

Nn= número de nudos T= testigo; L= lombricomposta; Na= NaturAbono®; Gm= guano de murciélago; Az= *Azotobacter* sp.; Gc= *Glomus cubense*. Promedios con la misma letra por columna no difieren significativamente (Tukey, $p < 0.05$). Se incluye media ±error estándar; CV= coeficiente de variación; ns= no significativo.

Román *et al.* (2013), mencionan que dichos resultados se le atribuye que, entre mayor cantidad de materia orgánica, existe una mayor cantidad microbiana y al aplicar abonos orgánicos en conjunto con biofertilizantes existe la posibilidad de liberación de nutrientes por la descomposición continua de la materia orgánica y por el efecto de los microorganismos en el suelo.

Martínez *et al.* (2015), reportan que la incorporación de biofertilizantes es una alternativa para la sobrevivencia del cultivo de café, ya que proporcionan microorganismos benéficos que al ser aplicados a los cultivos o al suelo, solos o en combinación, favorecen su actividad biológica, el aprovechamiento de los nutrientes en asociación con las plantas y el crecimiento vegetal, de tal forma que los rendimientos se mantengan o se incrementen.

Conclusiones

La incorporación de abonos orgánicos y biofertilizantes tuvieron efectos significativos entre tratamientos. En la variable Ap el tratamiento Gm+L+Gc mostró los valores más altos con 213 cm a partir de los 180 dda. Para el Dt, el tratamiento T mostró un valor de 3.16 cm. La variable Nn no se encontraron diferencias significativas, con el tratamiento Gm+L+Gc con 56.33 Nn. Asimismo, la incorporación de dichos insumos genera mayor crecimiento y vigor a las plantas, por otro lado, mejora la estructura del suelo aportando nutrientes necesarios para dicho cultivo.

Literatura citada

- Adriano, A. M. L.; Gálvez, R. J.; Hernández, R. C.; Figueroa, M. S. y Monreal, V. C. T. 2011. Biofertilización del café orgánico en etapa de vivero, Chiapas, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(3):417-431.
- Aguado-Santacruz, G. A. 2012. Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura. 35-78 pp.
- Aguilar, C. E. 2014. La agricultura sostenible en el Valle del Tulijá, Chiapas, México. Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). México. 183 p.
- Aguilar, J. C. E.; Alvarado, C. I.; Martínez, A. F. B.; Galdámez, G. J.; Gutiérrez, M. A. y Morales, C. J. A. 2016. Evaluación de tres abonos orgánicos en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en etapa de vivero. *Siembra.* 3(1):11-20.
- Aguilar, J. C. E.; Galdámez, G. J. A.; Gutiérrez, M. J. A.; Morales, C. y Martínez, A. F. B. 2017. Evaluación de abonos orgánicos en el cultivo de *Erythrina goldmanii* en etapa de vivero. *In: La agricultura sostenible como base para los agronegocios.* Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Primera Edición. 101-107 pp.
- Aranda, B. J. G. 2010. Mejores prácticas para la producción de café en el estado de Oaxaca con enfoque a mitigación del cambio climático. Guía de buenas prácticas para café sustentable, México. 115 p.
- Boudet, A. A.; Chinchilla, C. V. E.; Boicet, F. T. y González, G. G. 2015. Efectos de diferentes dosis de abono orgánico tipo bocashi en indicadores morfológicos y productivos del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) var. California Wonder. *Centro Agrícola.* 42(4):5-9.
- Cabon, M. 2015. Effect of shade on microclimate, soil fertility and productivity of coffee trees in Costa Rica. Turrialba. Report Internship job Cirad-Catie, Costa Rica. 31 p.
- Cascante, U. P. and Furcal, B. P. 2018. Effect of growth regulators, *Trichoderma harzianum* fungus, and mineral elements on coffee (*Coffea arabica* L.) regrowths, in Acosta, San José, Costa Rica. *AgroInnovación en el trópico húmedo.* 1(1):3-9. doi: 10.18860/rath.v1i1.3922.
- Casique, V. R.; Mendoza, V. R. F.; Galindo, G. S.; González, M. S. and Sánchez, P. 2018. Improved parameters of *Pinus greggii* seedling growth and health after inoculation with ectomycorrhizal fungi. *Southern Forests: a J. Forest Sci.* 1-8 pp. doi: 10.2989/20702620.2018.1474415.
- CEDRSSA. 2018. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. El café en México diagnóstico y perspectiva. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/30E1%20caf%C3%A9%20en%20M%C3%A9xico:%20diagn%C3%B3stico%20y%20perspectiva.pdf>.

- Cilas, C.; Bouharmont, P.; Boccara, M.; Eskes, A. B. and Baradat, P. 1998. Prediction of genetic value for coffee production in *Coffea arabica* from a half-diallel with lines and hybrids. *Euphytica*. 104(1):49-59. doi: doi.org/10.1023/A:1018635216182.
- Contreras, C. A.; Sánchez, M. P.; Romero, A. O.; Rivera, T. J. A.; Ocampo, F. I. y Parraguirre, L. J. F. C. 2019. Prácticas agroecológicas y su influencia en la fertilidad del suelo en la región cafetalera de Xolotla, Puebla. *Acta Universitaria* 29. doi: http://doi.org/10.15174/au.2019.1864.
- Coutiño, P. V.; Santoyo, C. V. H.; Flores, V. J. J. y Muñoz, R. M. 2017. Análisis comparativo de dos organizaciones de pequeños productores de café de Oaxaca, México. *Turismo, Economía y Negocios*. 3(2):41-57.
- Duarte, C. H. A. 2016. Efecto del riego en crecimiento y rendimiento del café (*Coffea arabica* L.) Catrenic. *Ingeniería Agrícola*. 6(4):17-22. doi: http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.30118.73283.
- Duicela, G. L. A. 2011. Manejo sostenible de fincas cafetaleras: buenas prácticas en la producción de café arábico y gestión de la calidad en las organizaciones de productores. Porto Viejo, Ecuador. Consejo Cafetalero Nacional COFENAC). 309 p.
- Espinosa, G. J. A.; Uresti, G. J.; Vélez, I. A.; Moctezuma, L. G.; Uresti, D. D.; Góngora, G. S. F. y Inurreta, A. H. D. 2016. Productividad y rentabilidad potencial del café (*Coffea arabica* L.) en el trópico mexicano. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7(8):2011-2024.
- FIRA. 2018. Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura. Panorama Agroalimentario, Café 2017. <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=68637>.
- Flores, V. F. 2015. La producción de café en México: ventana de oportunidad para el sector agrícola de Chiapas. *Espacio, Innovación más Desarrollo*. 4(7):174-194. doi: http://dx.doi.org/10.31644/IMASD.7.2015.a07.
- Galindo, B. H. G. 2013. Definición de las tendencias de fertilidad en suelos cafeteros de Charalá, Coromoro y Ocamonte (Santander). *Ciencia y Agricultura*. 10(2):67-72.
- Gómez, G. R.; Palma, L. D. J.; Obrador, O. J. J. y Ruiz, R. O. 2018. Densidad radical y tipos de suelos en los que se produce café (*Coffea arabica* L.) en Chiapas, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 5(14):203-215. doi: 10.19136/era. a5n14.1278.
- INEGI. 2019. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas (SIATL). <http://antares.inegi.org.mx/analisis/red.hidro/siatl/#app=86ae&e312selectedIndex=0&7b02-selectedIndex=0&dc07-selectedIndex=1>.
- Jaramillo, D. F. 2002. Introducción a la Ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín, Colombia. 619 p.
- Larios, G. R. C.; Salmerón, M. F. y García, C. L. 2014. Fertilidad del suelo con prácticas agroecológicas y manejo convencional en el cultivo de café. *La Calera*. 14(23):67-75. doi: <https://doi.org/10.5377/calera.v14i23.2660>.
- López, B. W.; Reynoso, S. R.; Camas, G. R. y Santos, C. E. C. 2019. Caracterización de los suelos cultivados con café (*Coffea arabica* L.) en la Sierra Madre de Chiapas, México. *Agroproductividad*. 12(1):53-58. doi: <https://doi.org/1010.32854/agrop.v0i0.1338>.
- Martínez, R. E.; López, G. M.; Ormeño, O. E. y Moles, A. C. 2015. Manual teórico práctico. Los biofertilizantes y su uso en la agricultura. Ed. Prado. 50 p.
- Medina, M. J. A.; Ruiz, N. R. E.; Gómez, C. J. C.; Sánchez, Y. J. M.; Gómez, A. G. y Pinto, M. O. 2016. Estudio del sistema de producción de café (*Coffea arabica* L.) en la región Frailesca, Chiapas. *Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. 10(2):33-43.

- Moisés, M. L.; Yonger, T. A. and Barraza, F. V. 2015. Ecological and economical alternative for *Coffea arabica* L. seedling obtainment. *Cienc. Agríc.* 32(1):65-74. doi: <https://doi.org/10.22267/rcia.153201.25>.
- Montgomery, D. 2005. *Diseño y análisis de experimentos*. Ed. Limusa Wiley. Segunda edición. México, DF. 686 p.
- Mosquera, A. T.; Melo, M. M.; Quiroga, C. G.; Avendaño, D. M.; Barahona, M.; Galindo, F. D.; Lancheros, J. J.; Prieto, S. A.; Rodríguez, A. and Sosa, D. N. 2016. Evaluation of organic fertilizers in coffee (*Coffea arabica*), in small holdings of Santander, Colombia. *Temas Agrarios*. 21(1):90-101. doi: <http://dx.doi.org/10.21897/rta.v21i1.894>.
- Noriega, A. G.; Cárcamo, R. B.; Gómez, C. M. Á.; Schwentesius, R. R.; Cruz, H. S.; Leyva, B. J.; García de la Rosa, E.; López, R. U. I. y Martínez, H. A. 2014. Intensificación de la producción en la agricultura orgánica: caso café. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(1):163-169.
- Palma, L. D. J.; Cisneros, D. J.; Del-Rivero, B. N.; Triano, S. A. y Castañeda, C. R. 2007. Hacia un desarrollo sustentable del uso de suelos de Tabasco. *In: Palma, L. D. J. and Triano, S. A. (Comp.). Vol. II. 2^{da} reimpresión. Plan de uso de los suelos de Tabasco. Vol. 2. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 9-37 pp.*
- Pérez, A.; Bustamante, C.; Rodríguez, R.; Díaz, A.; Bertot, Y. y Rodríguez, M. I. 2002. Influencia de diferentes variantes de fertilización en el crecimiento y desarrollo de posturas de *Coffea canephora* Pierre. *Cultivos Tropicales*. 23(4):89-93.
- Plaza, A. L. F.; Loor, S. R. G.; Guerrero, C. H. E. y Duicela, G. L. A. 2015. Caracterización fenotípica del germoplasma de *Coffea canephora* Pierre base para su mejoramiento en Ecuador. *Espanciencia*. 6(1):7-13.
- Reyes, L. D.; Mercado, M. G.; Escamilla, P. E. y Robledo, M. J. D. 2018. Innovaciones tecnológicas en la producción de planta de café (*Coffea arabica* L.). *Agroproductividad*. 11(4):74-79.
- Rodríguez, G. F. A.; Camacho, T. J. H. y Rubiano, S. Y. 2016. Variabilidad espacial de los atributos químicos del suelo en el rendimiento y calidad de café. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*. 17(2):237-254.
- Roger, A.; Libohova, Z.; Rossier, N.; Joost, S.; Maltas, A.; Frossard, E. and Sinaj, S. 2014. Spatial variability of soil phosphorus in the Fribourg canton, Switzerland. *Geoderma*. 217:26-36.
- Román, P.; Martínez, M. M. y Pantoja A. 2013. *Manual de compostaje del agricultor; experiencias en América Latina*. Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile. 17-25 pp.
- SAGARPA. 2017. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. *Café mexicano. México: planeación agrícola nacional 2017-2030*. https://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/TPS/pdf/03-planeacion-agricola-nacional_sagarpa.pdf.
- SAGARPA. 2018. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. *Anuario estadístico de la producción agrícola*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- SAS Institute Inc. 2011. *SAS/STAT® 9.3 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SEMARNAT. 2000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Norma Oficial Mexicana NOM-021 RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>.

- SIAP. 2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Café cereza cierra su ciclo productivo 2018, México, DF. 2018. <https://www.gob.mx/siap/articulos/cafe-cereza-cierra-su-ciclo-productivo-2018?idiom=es>.
- Silva, V. M. Da.; Teixeira, A. F. R.; Reis, E. F. Dos. and Mendonça, E. de S. 2013. Yield and nutritional status of the conilon coffee tree in organic fertilizer systems. *Ciênc. Agron.* 44(4):773-781. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000400014>.
- Steel, R. y Torrie, J. 1988. *Bioestadística: principios y procedimientos*. Editorial. McGraw Hill. Segunda edición. México, DF. 622 p.
- Thériez, M. 2015. Los efectos de la sombra sobre la energía cinética de las gotas de agua, la cobertura del suelo, la infiltración del agua, la roya y el dieback en Turrialba, Costa Rica. Turrialba. Informe de pasantía voluntaria. CIRAD, Costa Rica. 32 p.
- Villareyna, A. R. A. 2016. Efecto de los árboles de sombra sobre el suelo, en sistemas agroforestales con café, incluyendo la fenología y fisiología de los cafetos. Informe proyecto cascada. Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la naturaleza, obras públicas y seguridad nuclear. Alemania. 36 p.
- Zavala, C. C. J.; Salgado, G. S.; Marín, A. A.; Palma, L. D. J.; Castelán, E. M. y Ramos, R. R. 2014. Transecto de suelos en terrazas con plantaciones de cítricos en Tabasco. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 1(2):123-137.