

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN**

NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN

Código:

Evaluación del desarrollo y de la productividad del cultivo del café (*Coffea arabica*) con el uso de fertilizantes foliares complejados en Juayúa, Sonsonate, El Salvador.

TÍTULO A OBTENER: Ingeniero Agrónomo

AUTORES.

| Nombre, apellidos | Institucion y dirección | Teléfono y E-mail | Firma |
|--|---|--|---|
| Kevin Guillermo Martínez Pérez | Residencial Altos de Santa Lucía 1, pasaje #2 Norte. Polígono K, casa # 81, Santa Ana. | Tel. 7884-8539 kevingmperez@gmail.com |  |
| Salvador Antonio Mejía Álvarez | Cantón Rosario Tablón, Tenancingo, Cuscatlán. | Tel.7258-6969 Alvarez1995@hotmail.es |  |
| Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia | Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural. | 7318-0554 <u>earu_1663@yahoo.com.mx</u> | |
| Dr. Francisco Lara Ascencio | Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Decanato | Tel. 7071-0101 Correo: fcolaa@yahoo. | |

Visto bueno:

Coordinadora General de Procesos de Graduación del Departamento:

Ing. Agr. Ana Juana Elizabeth Valdés de Sánchez

Firma:

Director General de Procesos de Graduación de la Facultad:
Ing. Agr. Enrique Alonso Alas García

Firma:



Jefe del Departamento:
Ing. Edgar Marroquín Mena

Firma:

Sello:

Lugar y fecha: Ciudad Universitaria, marzo de 2021

Evaluación del desarrollo y de la productividad del cultivo del café (*Coffea arabica*) con el uso de fertilizantes foliares complejados en Juayúa, Sonsonate, El Salvador.

Martínez-Pérez, KG¹(*); Mejía-Álvarez, SA¹; Rodríguez-Urrutia, EA²(); Lara-Ascencio, F³(**).**

RESUMEN

La investigación se realizó de marzo a diciembre de 2019 en la finca de café “Valle de Oro”, ubicada en la comunidad San José, cantón San José La Majada, municipio de Juayúa, departamento de Sonsonate, en El Salvador, a una altura de 1,050 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas geográficas 13.844 N y -89.719 W.

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de los fertilizantes foliares complejados orgánicos con ácido lignosulfónico y a base de quelatos, comparados con un testigo al cual no se aplicó ningún fertilizante foliar, para conocer el efecto en el crecimiento, producción y calidad de bebida de una plantación de café variedad Marsellesa de dos y medio años de edad.

En un área de 8,000 m² se trabajó con 4,000 plantas de café en un diseño de Bloques Completamente al Azar Generalizado, con 3 tratamientos, 5 bloques, 30 unidades experimentales y 2 repeticiones por bloque de cada tratamiento.

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que las plantas de café a las que se les aplicó fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos lograron mayor altura de las plantas y crecimiento de bandolas, hojas y nudos; una maduración del fruto más homogénea ya que se obtuvo 3.53% de café verde por quintal; se necesitan en promedio 195 frutos maduros de café para completar una libra de peso, se contabilizaron en promedio 1,000 frutos maduros de café por planta, y se obtuvo una producción promedio de 176.60 quintales de café uva por manzana que equivale a 35.32 qq de café oro por manzana (2,293.51 kilogramos por hectárea). Además, se demostró que, a mayor pendiente de un terreno, menor es el crecimiento vegetativo de las plantas de café.

Palabras claves: Fertilizante foliar, café, *Coffea arabica*, ácido lignosulfónico, quelatos, El Salvador.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural, Estudiante tesista.

² Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural, Docente Director. efrain.rodriguez@ues.edu.sv

³ Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Decanato, Docente Director. francisco.lara@ues.edu.sv

ABSTRACT

The research was carried out from March to December 2019 at the “Valle de Oro” coffee farm, located in the San José community, San José La Majada canton, Juayúa municipality, Sonsonate department, in El Salvador, at a height of 1,050 meters above sea level, with geographic coordinates of 13,844 N and -89,719 W.

The objective of the research was to evaluate the effect of organic complexed foliar fertilizers with lignosulfonic acid and based on chelates, compared with a control to which no foliar fertilizer was applied, to know the effect on the growth, production and quality of drink of a two-and-a-half-year-old Marseille coffee plantation.

In an area of 8,000 m², 4,000 coffee plants were used in a Generalized Completely Random Block design, with 3 treatments, 5 blocks, 30 experimental units and 2 repetitions per block of each treatment.

The results obtained in this research show that the coffee plants to which foliar fertilizers based on organic complexes were applied achieved greater plant height and growth of bandolas, leaves and nodes; a more homogeneous ripening of the fruit since 3.53% of green coffee per quintal was obtained; An average of 195 ripe coffee fruits are needed to complete a pound of weight, an average of 1,000 ripe coffee fruits were counted per plant, and an average production of 176.60 quintals of grape coffee per apple was obtained, which is equivalent to 35.32 qq of gold coffee per apple (2,293.51 kilograms per hectare). In addition, it was shown that the steeper a terrain, the lower the vegetative growth of coffee plants.

Key word: Foliar fertilizer, coffee, *Coffea arabica*, lignosulfonic acid, chelates, El Salvador

1. INTRODUCCIÓN

El bosque cafetalero tiene para El Salvador una gran importancia hidrológica porque contribuye al mantenimiento de mantos acuíferos, además de proporcionar otros servicios ecosistémicos como: servir como fuente de energía, capturar carbono y conservar la biodiversidad. Los servicios ambientales generados por los cafetales incluyen, entre otros: regulación y renovación del agua, protección y conservación de la biodiversidad, belleza escénica, mitigación de las emisiones de gases con efecto invernadero y de los impactos de desastres asociados con fenómenos naturales (Portillo y Girón 2019).

El conocimiento de la composición química del suelo y de los nutrimentos presentes en el tejido vegetal constituyen una herramienta fundamental para determinar los requerimientos nutricionales del cultivo del café y para formular un programa de fertilización adecuado. Estos requerimientos se cumplen cuando los elementos necesarios para el crecimiento, desarrollo y productividad están presentes en forma suficiente y disponible para las plantas, de tal manera que no se conviertan en factores limitantes para el normal desarrollo del cultivo y no haya ninguna interacción antagónica entre ellos (Posada y Osorio 2010).

La fertilización foliar ha sido utilizada como un medio para suplir nutrimentos, hormonas, bioestimulantes y otras sustancias benéficas para las plantas, debido a que los cultivos requieren cantidades muy pequeñas de estos elementos que es fácil suplir a través del abonamiento foliar, también ayuda a las plantas a recuperarse del estrés, intoxicación de herbicidas, otras (ACCS 2002).

Las aspersiones con fertilizantes foliares son un complemento a la fertilización del suelo y sirven para corregir deficiencias. Deben efectuarse en las siguientes etapas: antes y durante la floración, durante el desarrollo del grano, para corregir deficiencias y cuando se presenten períodos críticos de sequía (estrés). La fuente de fertilización foliar a utilizar es aquella en la cual las hojas resultaron deficientes después de un análisis (ISIC 1990).

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de los fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos y de quelatos sobre el crecimiento, producción y calidad de bebida de una plantación de café variedad Marsellesa de dos y medio años de edad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación de la investigación

El estudio se realizó de marzo a diciembre del 2019 en la finca de café Valle de Oro, ubicada en la comunidad San José, cantón San José La Majada, municipio de Juayúa, departamento de Sonsonate, a una altura de 1,050 metros sobre el nivel del mar.

2.2. Metodología de campo

El estudio se realizó en una parcela de 8,000 m² (equivale a 0.8 hectáreas o 1.14 manzanas de terreno) cultivada con café de la variedad Marsellesa, de 2.5 años de edad, con una densidad de siembra de 3,500 plantas por manzana, la cual estaba siendo manejada convencionalmente.

2.2.1. Muestreo de suelo

Se realizó un muestreo de suelo al inicio de la investigación, las muestras se enviaron al laboratorio de la Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social (FUSADES) para analizar los elementos: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, pH, textura, capacidad de intercambio catiónico, sodio, azufre, boro, zinc, cobre, hierro, manganeso, materia orgánica y aluminio.

2.2.2. Muestreo foliar

Se realizaron 3 muestreos foliares durante la investigación, todas las muestras se enviaron al laboratorio de FUSADES para analizar los elementos: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso, zinc, boro y azufre, por medio de los métodos de Absorción Atómica por Horno de Grafito, Absorción Atómica por Llama, Kjeldhal y Colorimétrico.

2.2.3. Aplicación de fertilizantes al suelo

Se realizaron dos aplicaciones de fertilizantes al suelo, la primera en la etapa de prefloración que fue el 22 de marzo de 2019 y la segunda en la etapa de llenado de fruto el 24 de julio de 2019, en dosis de 6 onzas por planta en cada aplicación.

Cuadros 1. Fertilización aplicada al suelo para los tres tratamientos.

| 1ª aplicación | 2ª aplicación |
|---|---|
| nitrógeno (N) 15% | nitrógeno (N) 15% |
| fósforo (P ₂ O ₅) 3% | fósforo (P ₂ O ₅) 3% |
| potasio (K ₂ O) 15% | potasio (K ₂ O) 15% |
| calcio (CaO) 5.30% | calcio (CaO) 5.30% |
| magnesio (MgO) 4% | magnesio (MgO) 4% |
| zinc (Zn) 0.50% | zinc (Zn) 0.50% |
| boro (B) 0.06% | boro (B) 0.06% |

2.3. Metodología estadística

En la investigación se utilizó un diseño de Bloques Completamente al Azar Generalizado, para lo cual se delimitaron 5 bloques de 160 metros de largo por 10 m de ancho; cada bloque se dividió en 6 unidades experimentales de 25 m de largo por 10 m de ancho (2 repeticiones por tratamiento), con una separación de 2 m entre tratamiento. En total se tenían 30 unidades experimentales (10 por cada tratamiento), cada unidad experimental tenía 125 plantas.

Se utilizaron 3 tratamientos: Tratamiento 1 (T1): fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos; Tratamiento 2 (T2): fertilizantes foliares a base de quelatos; y el Tratamiento 3 (T3) o Testigo: no se aplicó ningún producto.

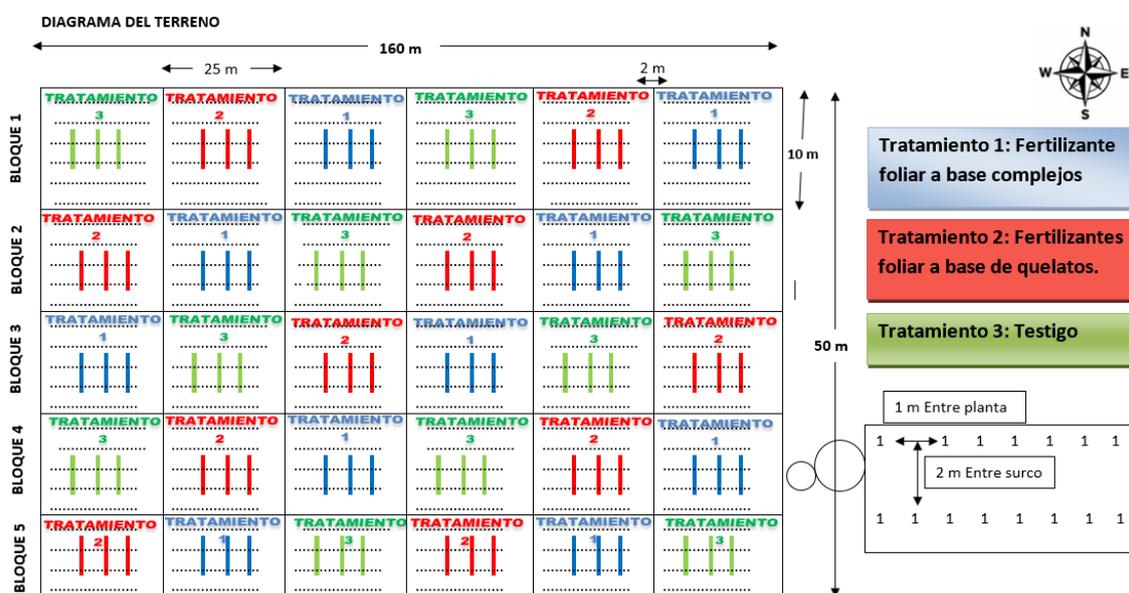


Figura 1. Tratamientos utilizados en la investigación.

2.3.1. Aplicación de fertilizantes foliares

Se realizaron 4 aplicaciones de fertilizantes foliares a lo largo de la investigación. El programa de fertilización foliar que se aplicó en cada tratamiento se estableció en base a los resultados de los análisis foliares y a los requerimientos nutricionales del cultivo en cada una de sus etapas fenológicas: floración, crecimiento y desarrollo (cuajado y llenado) del fruto, y maduración del fruto:

1. En la etapa de floración (14 de abril de 2019) se realizó la 1ª aplicación de fertilizantes foliares a base de boro, zinc y calcio para el tratamiento 1 (fertilizante foliar a base de complejos orgánicos) y el tratamiento 2 (fertilizante foliar a base de quelatos), con la

diferencia de que en el tratamiento 2 también se aplicó una fórmula a base de nitrógeno, fósforo y potasio.

2. En la etapa del cuajado del fruto (23 de mayo de 2019) se realizó la 2ª aplicación de fertilizante foliar a base de nitrógeno, fósforo, potasio, boro, zinc y calcio para el tratamiento 1 y 2.
3. En la etapa de crecimiento del fruto (18 de agosto de 2019) se realizó la 3ª aplicación del fertilizante foliar a base de nitrógeno, aminoácidos libres, materia orgánica, zinc, insecticida y fungicida para el tratamiento 1 y 2, con la diferencia de que al tratamiento 2 también se le agregó fósforo y boro.
4. En la etapa de maduración del grano (11 de octubre de 2019) se realizó la 4ª aplicación de fertilizante foliar, para el tratamiento 1 a base de nitrógeno, aminoácidos libres, materia orgánica, magnesio, potasio, insecticida y adyuvante; y para el tratamiento 2 se aplicó nitrógeno, fósforo, potasio, zinc, boro y calcio.

Para la aplicación de los fertilizantes foliares se usó un barril de 200 litros de capacidad, pero solo se utilizaron 100 litros de agua para la mezcla de los productos de cada tratamiento en 1,250 plantas de café. Para aplicar los productos al follaje se utilizó un equipo de aspersión motorizado (motobomba) de espalda, de 25 litros de capacidad.

Los fertilizantes foliares se aplicaron al cultivo, a un lado de cada surco, rociando el fertilizante desde la parte baja de las plantas hacia la parte alta, de modo que los productos cayeran en el envés de las hojas.

Melgar (2005) dice que las plantas pueden alimentarse a través de las hojas mediante la aplicación de sales nutritivas disueltas en agua. Los nutrientes penetran en las hojas de las plantas a través de aperturas denominadas estomas. Estas estructuras se encuentran tanto en la superficie foliar superior (haz), como inferior (envés), y juegan un papel importante en la absorción de nutrientes vía foliar.

2.3.2. Toma de datos de campo

Los datos obtenidos durante la investigación se anotaron en una libreta de campo y posteriormente fueron trasladados a cuadros en Microsoft Office Excel®. Los datos se tomaron cada 35 días, la primera toma de datos fue en la etapa de floración (4 de mayo de 2019); la segunda, tercera y cuarta toma de datos se hizo durante el crecimiento y desarrollo del fruto (8 de junio, 11 de julio y 13 de agosto de 2019, respectivamente). Las últimas dos mediciones se hicieron en la etapa de maduración del fruto, en las fechas del 15 de septiembre y del 18 de octubre de 2019.

Las variables que se evaluaron fueron:

- Altura de la planta, se midió en centímetros con cinta métrica, desde el nivel del suelo hasta la parte apical de la planta.
- Largo de bandolas, se seleccionaron bandolas de la parte media de la planta de café, se marcaron y a partir de esa marca se medía con cinta métrica.
- Número de hojas por bandola; Se contaron el número de hojas que posee la bandola seleccionada, a partir de la marca que se puso.
- Largo y ancho de las hojas; se midió con cinta métrica, las hojas que se encontraban en las bandolas seleccionadas.
- Número de brotes nuevos por bandola; En el último brote de las bandolas seleccionadas se amarró un hilo de lana de color y se contaron los nuevos brotes a partir de esa marca.
- Brotes nuevos en la yema apical, en las plantas seleccionadas se amarró un hilo de lana de color y a partir de allí se contaron los nuevos brotes.
- Número de frutos maduros por planta, se contaron todos los frutos maduros de café por cada árbol seleccionado.
- Peso de los frutos maduros por planta, se cortaron los frutos maduros de café en las plantas seleccionadas hasta lograr el peso de una libra.
- Homogeneidad de la maduración de los frutos de café, antes de realizar la cosecha se contaba el número de frutos verdes para obtener un porcentaje.
- Calidad del grano de café, los frutos de café cosechados por cada tratamiento fueron despulpados, fermentados, lavados y secados, para enviar una libra de café oro por cada tratamiento al laboratorio de Catación del Consejo Salvadoreño del Café para los respectivos análisis sensoriales.

Para el análisis de datos se utilizó estadística descriptiva (gráficos y tablas), Análisis de Varianza y la prueba de Tukey.

2.4. Metodología económica

Para el análisis económico se realizó un presupuesto de costos de producción para las aplicaciones de fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos y de quelatos, además del testigo, obteniendo los costos unitarios de cada producto y los costos por manzana de cada tratamiento.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Altura de las plantas de café

Al realizar el análisis de varianza se demostró que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

Al realizar la prueba de Tukey no se observan diferencias entre medias cuando se analizaron con el 5% de significancia, lo que indica que todos los tratamientos tuvieron similares respuestas a la aplicación de los fertilizantes foliares durante el ciclo del cultivo.

Al realizar la prueba de Tukey para bloques se observaron diferencias significativas, lo que indica que los bloques 2 (pendiente 7%), 1 (pendiente 9%) y, 4 y 3 (pendiente 11%), incidieron de manera distinta al bloque 5 (pendiente 14%) en el crecimiento en altura de las plantas.

Cuadro 2. Prueba de Tukey para bloques en altura de la planta de café.

| Bloque | Medias | N | Agrupaciones |
|--------|--------|---|--------------|
| 2 | 25,53 | 6 | A |
| 1 | 23,42 | 6 | A |
| 4 | 20,74 | 6 | A |
| 3 | 20,08 | 6 | A |
| 5 | 13,03 | 6 | B |

Esto se debe a que, a mayor pendiente del terreno, éste sufrirá mayor lixiviación o lavado de minerales, por lo que las plantas absorberán menos nutrientes del suelo, del cual obtienen el 80% de los alimentos que las nutren; por lo tanto, las plantas que se encuentran en pendientes más elevadas tendrán un menor tamaño. Para este caso, la pendiente del 10.4% afecta de manera más significativa la nutrición de las plantas.

Una aproximación a la variable demuestra que con los fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos se obtuvieron las mayores alturas de las plantas de café con 22.76 cm, seguido del testigo con 20.72 cm y por último el fertilizante foliar a base de quelatos con 18.20 cm.

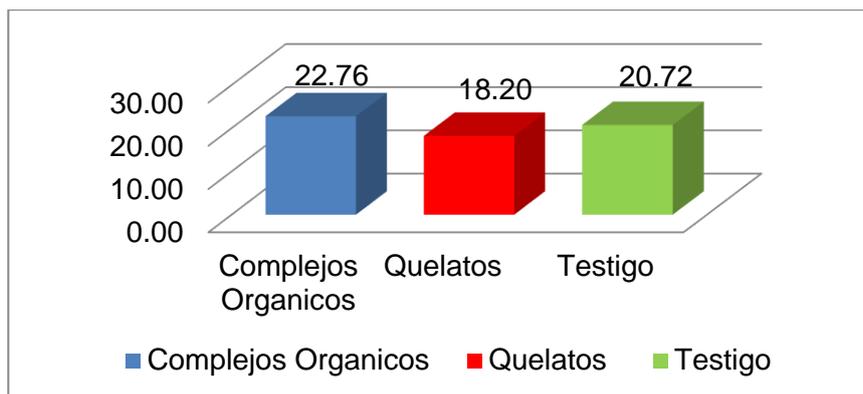


Figura 2. Crecimiento en altura de las plantas de café (cm).

Según Aldana (2000), la nutrición foliar ha probado ser la forma más rápida para curar las deficiencias de nutrientes y acelerar el crecimiento de las plantas en determinadas etapas fisiológicas.

3.2. Crecimiento de las bandolas inferiores

El análisis de varianza demostró que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y bloques.

Al realizar la prueba de Tukey al crecimiento de bandolas ubicadas en la parte inferior de las plantas de café, no se observaron diferencias entre medias cuando se analizaron con el 5% de significancia, lo que indica que todos los tratamientos tuvieron similares respuestas a la aplicación de fertilizantes foliares.

Con los fertilizantes foliares complejados orgánicos se obtuvo el mayor crecimiento de las bandolas ubicadas en la parte inferior de las plantas con 11.60 cm, seguido del testigo con 11.53 cm y por último el fertilizante foliar a base de quelatos con 9.96 cm.

3.3. Crecimiento de las bandolas superiores

El crecimiento y desarrollo adecuado de las bandolas significa que las plantas tienen la capacidad de formar mayor número de hojas, entrenudos y yemas florales, los cuales se relacionan directamente con la producción.

El análisis de varianza demostró que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y bloques.

Al realizar la prueba de Tukey a la variable crecimiento de las bandolas ubicadas en la parte superior de las plantas de café, no se observaron diferencias entre medias cuando se analizaron con el 5% de significancia.

Los bloques presentan diferencias significativas en el crecimiento de las bandolas superiores de los cafetos, debido a que las plantas de café ubicadas en terrenos con mayor pendiente absorberán menos nutrientes del suelo y por lo tanto tendrán un menor tamaño.

Cuadro 3. Prueba de Tukey para bloques en el crecimiento de bandolas superiores.

| Bloque | Medias | N | Agrupaciones |
|--------|--------|---|--------------|
| 2 | 26,11 | 6 | A |
| 1 | 24,69 | 6 | A |
| 3 | 24,56 | 6 | A |
| 4 | 24,42 | 6 | A |
| 5 | 18,97 | 6 | B |

Con los fertilizantes foliares complejados orgánicos se obtuvo el mayor crecimiento de las bandolas ubicadas en la parte superior de las plantas con 24.94 cm, seguido del testigo con 23.92 cm y por último el fertilizante foliar a base de quelatos con 22.32 cm.

Según la ACCS (2002), la aplicación de fertilizantes foliares aumenta el crecimiento de la planta y de bandolas.

3.4. Número de hojas nuevas en las bandolas inferiores.

El análisis de varianza demostró que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y bloques.

Al realizar la prueba de Tukey, no se observaron diferencias entre las medias cuando se analizaron con el 5% de significancia.

Los bloques presentaron diferencias significativas en la variable número de hojas nuevas en las bandolas inferiores, debido a que, a mayor pendiente del terreno, menor cantidad de nutrientes absorben las plantas del suelo, por lo que se ve afectado el crecimiento y desarrollo de tejidos nuevos.

Cuadro 4. Prueba de Tukey para bloques en número de hojas nuevas en bandolas inferiores.

| Bloque | Medias | N | Agrupaciones |
|--------|--------|---|--------------|
| 2 | 7,92 | 6 | A |
| 1 | 5,69 | 6 | A |
| 4 | 4,26 | 6 | A |
| 3 | 4,08 | 6 | A |
| 5 | 3,29 | 6 | A |

Con los fertilizantes foliares complejados orgánicos se obtuvo 5.55 hojas nuevas en las bandolas ubicadas en la parte inferior de la planta de café, seguido del testigo con 4.85 hojas y en último lugar el fertilizante foliar a base de quelatos con 4.75 hojas.

3.5. Número de hojas nuevas en las bandolas superiores

El análisis de varianza demostró que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y bloques.

Al realizar la prueba de Tukey, no se observaron diferencias entre las medias cuando se analizaron con el 5% de significancia.

Con los fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos se obtuvieron 8.79 hojas nuevas en las bandolas superiores de las plantas de café, seguido del testigo con 8.17 hojas y por último el fertilizante foliar a base de quelatos con 8.10 hojas.

Según Vicente (2016), la planta de café absorbe y aprovecha los micronutrientes en el proceso fisiológico de crecimiento de las hojas, asimilando gran parte en el momento de la absorción de los fertilizantes foliares.

Según Nájera (2015), las plantas pueden fertilizarse a través de las hojas mediante aplicaciones de sales solubles en agua, de ésta manera los nutrientes penetran en las hojas a través de las estomas que se encuentran en el haz o envés de la hoja y por los espacios submicroscópicos denominados ectodermos, y al dilatarse la cutícula de las hojas se producen espacios vacíos que permiten la penetración de los nutrientes.

3.6. Número de nudos nuevos en las bandolas inferiores

El análisis de varianza demostró que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y bloques.

Al realizar la prueba de Tukey, no se observan diferencias entre medias cuando se analizaron con el 5% de significancia, lo que indica que todos los tratamientos tuvieron similares respuestas a la aplicación de fertilizantes foliares durante el ciclo del cultivo.

Con los fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos se obtuvo el mayor número de nudos nuevos en las bandolas inferiores de las plantas con 5.06 nudos, seguido del fertilizante foliar a base de quelatos con 4.68 nudos y por último el testigo con 4.60 nudos.

3.7. Número de nudos nuevos en las bandolas superiores

El análisis de varianza demostró que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y bloques.

Al realizar la prueba de Tukey, no se encontraron diferencias entre medias cuando se analizaron con el 5% de significancia.

Los bloques presentaron diferencias significativas con respecto al número de nudos nuevos en las bandolas superiores. Esto se debe a que, a mayor pendiente del terreno, menor cantidad de nutrientes absorben las plantas del suelo, por lo que se ve afectado el crecimiento y desarrollo de los tejidos nuevos.

Cuadro 5. Prueba de Tukey para bloques en número de nudos nuevos en bandolas superiores.

| Bloque | Medias | N | Agrupaciones | |
|--------|--------|---|--------------|---|
| 2 | 8,04 | 6 | A | |
| 1 | 7,89 | 6 | A | B |
| 3 | 7,71 | 6 | A | B |
| 4 | 7,15 | 6 | A | B |
| 5 | 6,89 | 6 | B | |

Con los fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos se obtuvo el mayor número de nudos nuevos en las bandolas superiores de las plantas con 7.79 nudos, seguido del fertilizante foliar a base de quelatos con 7,42 nudos y por último el testigo con 7.40 nudos.

Según Boss (1991), la aplicación de fertilizantes foliares aumenta el número de nudos formados en las bandolas, los cuales son importantes porque de este se originan tejidos nuevos y productivos.

3.8. Número de nudos nuevos en el ápice de las plantas de café

El análisis de varianza demostró que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y bloques.

Al realizar la prueba de Tukey, no se observaron diferencias entre medias cuando se analizaron con el 5% de significancia.

Con los fertilizantes foliares complejados orgánicos se obtuvo el mayor número de nudos nuevos en el ápice de las plantas de café con 6.47 nudos, seguido del fertilizante foliar a base de quelatos con 5.87 nudos y en último lugar el testigo con 5.70 nudos.

Según Boss (1991), la aplicación de fertilizantes foliares contribuye al crecimiento de las plantas de café y al aumento en el número de nudos en el ápice de dichas plantas.

3.9. Largo de las hojas ubicadas en las bandolas inferiores

El análisis de varianza demostró que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y bloques.

Al realizar la prueba de Tukey, no se observan diferencias entre medias cuando se analizaron con el 5% de significancia.

Con los fertilizantes foliares complejados orgánicos se obtuvo el mayor largo de las hojas ubicadas en las bandolas inferiores de las plantas con 9.31 cm, seguido del fertilizante foliar a base de quelatos con 8.01 cm y por último el testigo con 7.31 cm.

3.10. Largo de las hojas ubicadas en las bandolas superiores

El análisis de varianza no encontró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos; sin embargo, se confirman diferencias estadísticas altamente significativas entre bloques (0.0021), lo que implica que al menos un bloque se comportó de manera distinta a los demás.

Cuadro 6. Análisis de varianza del largo de hojas en bandolas superiores.

| Factor de Variación | Suma de Cuadrados | Grados de libertad | Cuadrado Medio | F calculada | F tabla |
|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------|---------|
| Modelo | 82,81 | 14 | 5,92 | 2,84 | 0,027 |
| Tratamiento | 1,08 | 2 | 0,54 | 0,26 | 0,7751 |
| Bloque | 58,89 | 4 | 14,72 | 7,06 | 0,0021 |
| Tratamiento*Bloque | 22,85 | 8 | 2,86 | 1,37 | 0,2851 |
| Error | 31,27 | 15 | 2,08 | | |
| Total | 114,08 | 29 | | | |

Al realizar la prueba de Tukey, no se observan diferencias entre medias cuando se analizaron con el 5% de significancia, lo que indica que todos los tratamientos tuvieron similares respuestas a la aplicación de los fertilizantes foliares durante el ciclo del cultivo.

Al realizar la prueba de Tukey para bloques se observaron diferencias significativas, lo que indica que los bloques 2 (pendiente 7%), 1 (pendiente 9%) y, 4 y 3 (pendiente 11%), incidieron de manera distinta al bloque 5 (pendiente 14%) en el largo de las hojas ubicadas en las bandolas superiores de las plantas de café.

Cuadro 7. Prueba de Tukey para bloques en el largo de hojas de bandolas superiores.

| Bloques | Medias | N | Agrupaciones | |
|---------|--------|---|--------------|---|
| 1 | 8,74 | 6 | A | |
| 3 | 8,32 | 6 | A | |
| 2 | 8.10 | 6 | A | |
| 4 | 7,10 | 6 | A | B |
| 5 | 4,83 | 6 | | B |

Esto se debe a que, a mayor pendiente del terreno, este sufrirá mayor lixiviación o lavado de minerales, por lo que las plantas absorberán menos nutrientes del suelo, del cual obtienen el 80% de los alimentos que las nutren; por lo tanto, las plantas que se encuentran en pendientes más elevadas tendrán un menor tamaño en el largo de sus hojas. Para este caso, la pendiente del 10.4% afecta de manera más significativa a la nutrición de las plantas.

Con los fertilizantes foliares complejados orgánicos se obtuvo el mayor largo de las hojas ubicadas en las bandolas superiores de las plantas con 7.61 cm, seguido del testigo con 7.49 cm y por último el fertilizante foliar a base de quelatos con 7.16 cm.

Según Pérez (2007), la fertilización foliar contribuye al crecimiento de las hojas, ya que éstas son la principal fábrica de fotosintatos.

3.11. Ancho de las hojas ubicadas en las bandolas inferiores

El análisis de varianza del ancho de las hojas ubicadas en la parte inferior de las plantas demostró que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y bloques.

Al realizar la prueba de Tukey, no se observan diferencias entre medias cuando se analizaron con el 5% de significancia.

Con los fertilizantes foliares complejados orgánicos se obtuvo el mayor ancho de las hojas ubicadas en las bandolas inferiores de las plantas con 3.45 cm, seguido del testigo con 3 cm y en último lugar el fertilizante foliar a base de quelatos con 2.86 cm.

3.12. Ancho de las hojas ubicadas en las bandolas superiores

El análisis de varianza demostró que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y bloques.

Al realizar la prueba de Tukey, no se observan diferencias entre medias cuando se analizaron con el 5% de significancia.

Con los fertilizantes foliares complejados orgánicos se obtuvo el mayor ancho de las hojas ubicadas en las bandolas superiores de las plantas con 3.39 cm, seguido del testigo con 3.07 cm y por último el fertilizante foliar a base de quelatos con 2.90 cm.

Según Pérez (2007), la fertilización foliar permite la incorporación de elementos esenciales en el metabolismo de las plantas, lo que mejora el crecimiento de las plantas y de las hojas.

3.13. Número de frutos maduros de café por libra

En las plantas de café que fueron aplicados fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos se necesitan en promedio 195 frutos maduros de café para completar una libra, esto es debido al mayor peso y contenido de azúcares de los frutos; para el fertilizante foliar a base de quelatos se necesitan 206 frutos y para el testigo 208 frutos.

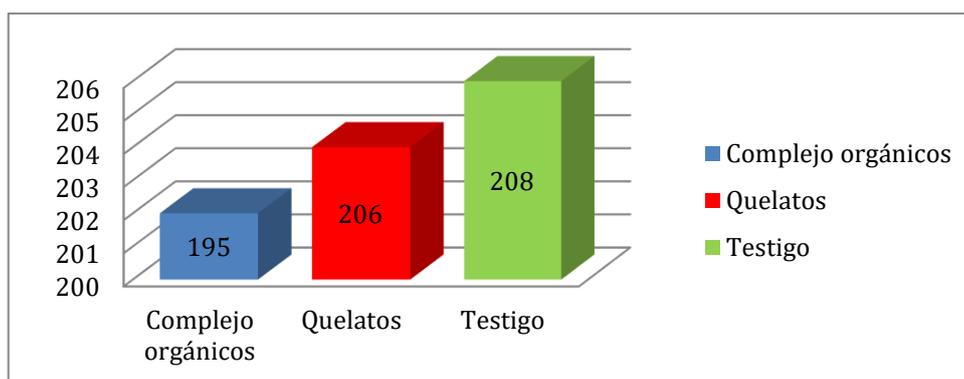


Figura 3. Número de frutos maduros de café por libra.

Trinidad y Aguilar (1999) mencionan que los mejores resultados en número de granos por libra de café los obtuvieron cuando aplicaron más de 4 fertilizaciones foliares.

3.14. Número de frutos maduros de café por planta

El análisis de varianza demostró que si existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y bloques.

Cuadro 8. Análisis de varianza del número de frutos maduros por planta.

| Factor de Variación | Suma de Cuadrados | Grados de libertad | Cuadrado Medio | F calculada | F tabla |
|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------|---------|
| Modelo | 21863,20 | 14 | 1561,66 | 17,38 | 0,0001 |
| Tratamiento | 9750,20 | 2 | 4875,10 | 54,25 | 0,0001 |
| Bloque | 11946,20 | 4 | 2986,55 | 54,25 | 0,0001 |
| Tratamiento*Bloque | 166,80 | 8 | 20,85 | 0,23 | 0,9785 |
| Error | 1348,0 | 15 | 89,87 | | |
| Total | 23211,20 | 29 | | | |

Los tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas en el número de frutos maduros por planta, obteniendo mejores resultados el tratamiento con fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos, los cuales nutrieron más eficientemente a las plantas de café, logrando como resultado una planta mejor desarrollada.

Cuadro 9. Prueba de Tukey en tratamientos de frutos maduros por planta.

| Tratamiento | Medias | Muestra | Agrupaciones |
|-------------|---------|---------|--------------|
| 1 | 1000,00 | 10 | A |
| 3 | 968,00 | 10 | B |
| 2 | 957,00 | 10 | C |

Los bloques presentaron diferencias estadísticas significativas en el número de frutos maduros por planta, obteniendo las mayores producciones en los bloques que estaban ubicados en terrenos con menores pendientes, los cuales tienen menor pérdida de minerales por lixiviación.

Cuadro 10. Prueba de Tukey en bloques del número de frutos maduros por planta.

| Bloques | Medias | N | Agrupaciones |
|---------|---------|---|--------------|
| 2 | 1006,60 | 6 | A |
| 1 | 989,33 | 6 | B |
| 3 | 970,00 | 6 | C |
| 5 | 958,00 | 6 | C D |
| 5 | 952,83 | 6 | D |

En las plantas de café que fueron aplicados fertilizantes foliares complejados orgánicos se contaron en promedio 1,000 frutos maduros de café por planta, esto es debido al mayor contenido de azúcares de los frutos y al mayor peso; en las plantas en donde se aplicó el fertilizante foliar a base de quelatos se contaron en promedio 957 frutos por planta y en las que se usaron como testigo se contaron en promedio 969 frutos.

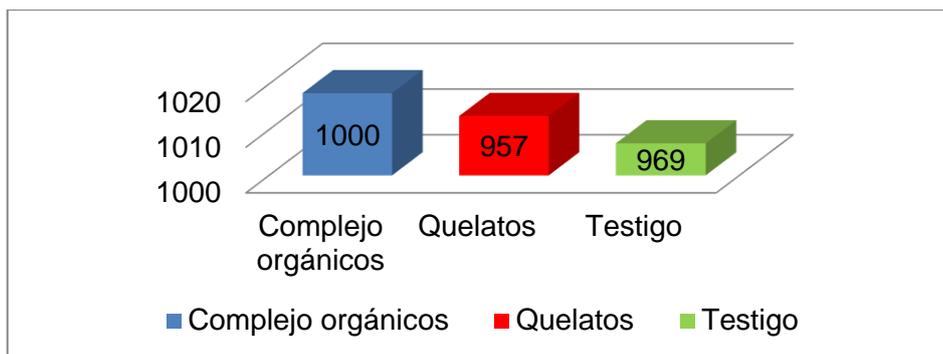


Figura 4. Número de frutos maduros de café por planta.

Según ANACAFE (s.f.), la variedad de café Marsellesa es una variedad precoz, que en condiciones normales empieza a producir a los 18 meses después de la siembra, y al tercer año se obtiene una producción promedio de 500 frutos por planta.

3.15. Producción de café por planta

En las plantas de café que fueron aplicados fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos se obtuvo una producción promedio de 5.04 libras (2.29 kilogramos) de café maduro por planta, esto es debido al mayor peso y contenido de azúcares de los frutos; en las plantas en donde se aplicó el fertilizante foliar a base de quelatos se obtuvo una producción promedio de 4.97 libras (2.26 kg) de café por planta, y con el testigo se obtuvo una producción promedio de 4.89 libras (2.22 kg) de café por planta.

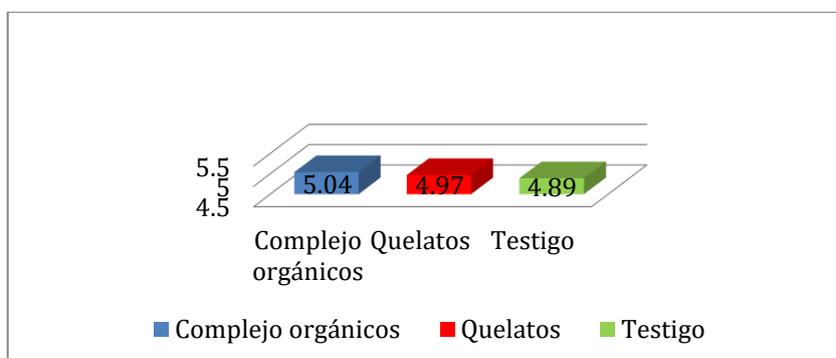


Figura 5. Producción de café por planta (libras).

Según ANACAFE (s.f.), las plantas de café de la variedad Marsellesa tienen alta productividad, entrenudos cortos y una producción promedio de 1.7 libras (0.80 kilogramos) por planta.

3.16. Producción de café por manzana

En las plantas de café que fueron aplicados fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos se obtuvo una producción promedio de 176.60 quintales (qq) de café uva por

manzana (mz), que equivale a 35.32 qq de café oro por mz (2,293.51 kg por hectárea), esto es debido al mayor peso y contenido de azúcares de los frutos; en las plantas en donde se aplicó el fertilizante foliar a base de quelatos se obtuvo una producción promedio de 174.25 qq de café uva por mz, que equivale a 34.85 qq/mz de café oro (2,262.99 kg/ha), y en el testigo se obtuvo una producción promedio de 171.33 qq de café uva por mz, que equivale a 34.27 qq/mz de café oro (2,225.32 kg/ha). Es de mencionar que cinco quintales de café uva al procesarlos en el beneficio se convierten en un quintal oro, es decir, una relación 5:1.

Es importante mencionar, que la producción en el cultivo del café inicia en el año anterior, por lo que los resultados obtenidos en esta investigación también son el resultado y consecuencia de la forma en que se manejó el cultivo en cuanto a fertilización al suelo y al follaje; control de malezas, plagas y enfermedades, entre otras.

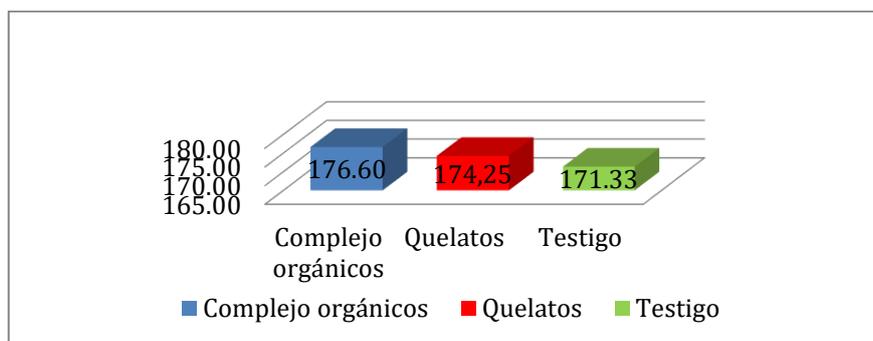


Figura 6. Producción de café uva por manzana (quintales).

Según la Revista El Cafetalero (2017), la primera producción de café de la variedad Marsellesa se da a los 18 meses después de la siembra, con una productividad de 136.36 a 318.18 kg por hectárea (3 a 7 qq/ha). La producción más alta se presenta a partir de la segunda y tercera cosecha comercial, depende de la zona y llega en promedio a producir 3,636.36 kg/ha (80 qq/ha), incluso hasta 5,090.90 kg/ha (112 qq/ha) si el cafetal cuenta con el manejo y la fertilización adecuada.

3.17. Homogeneidad en la maduración del café uva

En las plantas de café que fueron aplicados fertilizantes foliares complejados orgánicos se obtuvo una maduración del fruto de café más homogénea, ya que solo se obtuvo 3.53% de café verde por quintal, lo que mejora el rendimiento por manzana; en las plantas en donde se aplicó el fertilizante foliar a base de quelatos se obtuvo 6.71% de café verde y en las plantas que se usaron como testigo se obtuvo 5.71% de café verde.

Según FNC (2014), el potasio es uno de los elementos de mayor demanda por la planta de café, sobre todo en la etapa de producción, ya que acelera la producción de azúcares y su transporte, mejora el color y la calidad del grano.

3.18. Análisis sensorial del café maduro (Catación)

Según el informe de Control de Calidad sobre los resultados del análisis sensorial en taza, realizado por el Consejo Salvadoreño del Café a las muestras de café, se obtuvieron los siguientes resultados: los granos de café de las plantas en donde se aplicaron fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos son de tamaño Muy Bueno, ya que el 72% permaneció sobre zaranda 17, y no hubo diferencias en el puntaje de calidad de la bebida que obtuvo cada tratamiento.

Cuadro 11. Resultados del análisis sensorial del café maduro.

| Parámetro | Fertilizantes foliares Complejados orgánicos | Fertilizantes foliares a base de Quelatos | Testigo |
|------------------------|--|---|--|
| Fragancia* | Normal | Normal | Normal |
| Aroma** | Normal | Normal | Normal |
| Descripción en taza*** | Bajo en cuerpo, acidez y sabor | Acidez media. Algo de dulzura | Bajo en acidez. Poca dulzura. Poco sabor |
| Nota**** | 80 – 81 puntos | 81 – 82 puntos | 80 – 81 puntos |
| Proceso | Lavado | Lavado | Lavado |
| Tamaño | Muy Bueno | Bueno | Muy Bueno |
| Cosecha | 72% sobre zaranda 17 2019-2020 | 60.6% sobre zaranda 17 2019-2020 | 70.2% sobre zaranda 17 2019-2020 |

*Fragancia: Es un aspecto aromático que se conoce como el olor del grano de café cuando aún está seco.

**Aroma: Es el olor del café cuando se infundona en agua caliente.

***Acidez: Se refiere a la nota del sabor y el contenido de elementos ácidos en el grano. No se debe confundir con el sabor agrio o amargo, ya que la acidez es una característica del café que le proporciona cualidades que generan una bebida con sabor y no tan plana.

***Cuerpo: Es aquella sensación que se genera a la hora de ingerir la infusión de café en la boca, percibir si un café tiene cuerpo es lo equivalente a lo pesado que la bebida pueda ser en comparación con la sensación de escaso o nulo cuerpo del agua en la boca.

****Sabor: Es la impresión combinada de todas las sensaciones de las papilas gustativas y los aromas retronasales que van de la boca a la nariz. En la catación para poder calificar el sabor se debe tomar en cuenta la intensidad, calidad y complejidad del café en la taza.

***Dulzura: Se refiere a la plenitud del sabor, es lo opuesto a la amargura o astringencia. Esta propiedad se da bajo la percepción de la presencia de ciertos azúcares naturales que el mismo grano de café pueda tener.

****Postgusto: Se le conoce a la sensación que perdura del sabor del café en el paladar después de ser tragado. Si el postgusto es muy corto o desagradable la puntuación es baja.

Balance: Es el equilibrio de los diferentes aspectos del sabor, postgusto, acidez y cuerpo del café en su complementación.

Suavidad: Es la sensación de intensidad del café en taza.

Según ANACAFE (s.f.), en análisis sensoriales realizados en café de la variedad Marsellesa en Matagalpa, Boaco, Jinotega, El Cua y Nueva Segovia, localidades de

Nicaragua ubicadas entre 710 a 1,230 metros sobre el nivel del mar, obtuvieron en promedio 81.3 puntos en análisis de taza.

Según la Revista El Cafetalero (2017), el café de la variedad Marsellesa tiene Muy Buena calidad de taza, en cataciones realizadas durante varios ciclos de distintos lotes se han obtenido hasta 88 puntos, con acidez superior a la variedad del café Caturra, con cuerpo similar al Caturra, mayor dulzura que el Caturra y con aroma a frutas.

3.19. Costo-beneficio de los programas de fertilización foliar

Los costos por manzana de la aplicación de fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos fue de \$3,176.32 dólares, obteniendo \$3,885.20 dólares por la venta del café, generando una ganancia de \$708.88 dólares por manzana.

Los costos por manzana de la aplicación de fertilizantes foliares a base de quelatos fue de \$3,092.97 dólares, obteniendo \$3,832.84 dólares por la venta del café, con una ganancia de \$739.87 dólares por manzana.

Los costos por manzana donde no se aplicó fertilizantes foliares a las plantas fue de \$2,940.83 dólares, obteniendo \$3,769.26 dólares por la venta del café, generando una ganancia de \$828.43 dólares por manzana.

Se espera que, en el siguiente ciclo productivo, la inversión realizada genere mayores ganancias, principalmente en las plantas de café donde se aplicaron los fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos y quelatos, por el “preparo” o desarrollo que hay en sus bandolas.

4. CONCLUSIONES

- Los fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos presentaron los mejores resultados en el crecimiento de las plantas de café de la variedad Marsellesa, de las bandolas; y en el número, largo y ancho de las hojas.
- En las plantas de café que fueron aplicados fertilizantes foliares complejados orgánicos se necesitan en promedio 195 frutos maduros para completar una libra de peso, en los fertilizantes foliares a base de quelatos se necesitan 206 frutos y para el testigo 208 frutos.
- En las plantas de café que fueron aplicados fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos se contaron en promedio 1,000 frutos maduros por planta, en donde se

aplicó fertilizantes foliares a base de quelatos fueron 957 frutos por planta y en el testigo se contaron en promedio 969 frutos.

- Con los fertilizantes foliares complejados orgánicos se obtuvo una producción promedio de 35.32 qq de café oro por manzana, en donde se aplicó fertilizante foliar a base de quelatos fue de 34.85 qq de café oro por manzana, y en las plantas testigo de 34.27 qq de café oro por manzana.
- La producción en el cultivo del café inicia en el año anterior, por lo que los resultados obtenidos en esta investigación también son el resultado y consecuencia de la forma en que se manejó el cultivo en cuanto a fertilización al suelo y al follaje; control de malezas, plagas y enfermedades, entre otras.
- En las plantas de café que fueron aplicados fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos se obtuvo una maduración de los frutos más uniforme ya que la producción de café verde fue de 3.53% por quintal, en donde se aplicó el fertilizante foliar a base de quelatos fue de 6.71% de café verde y en el testigo de 5.71% de café verde.
- Los análisis de catación demuestran que los granos de café de las plantas en donde se aplicaron fertilizantes foliares complejados orgánicos son de tamaño muy bueno, ya que el 72% permaneció sobre zaranda 17, y no hubo diferencias en el puntaje de la calidad de la bebida que obtuvo cada tratamiento.
- La aplicación de fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos generó una ganancia de \$708.88 dólares por manzana, la de fertilizantes foliares a base de quelatos generó \$739.87 dólares por manzana y el testigo obtuvo una ganancia de \$828.43 dólares por manzana; pero, la inversión realizada se espera que en el siguiente ciclo productivo genere mayores ganancias en aquellas plantas de café donde se aplicaron los fertilizantes foliares a base de complejos orgánicos y de quelatos, por la preparación que hay en cuanto al mayor crecimiento de las plantas y de las bandolas, no así en el Testigo.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar muestreo del follaje en plantas de café y del suelo para su análisis de laboratorio antes de iniciar cualquier investigación, para conocer el contenido de macronutrientes y micronutrientes que pueden afectar el desarrollo fisiológico y la producción del cultivo.
- Aplicar fertilizantes foliares complejados orgánicos a las plantas de café, a fin de generar mayor producción y rendimientos por manzana, madurez de los frutos más uniforme y menor cantidad de frutos verdes.

- Realizar aplicaciones de fertilizantes foliares entre las seis y las diez de la mañana o de las cuatro a las seis de la tarde, a fin de reducir la evapotranspiración de las plantas.
- Al momento de aplicar el fertilizante foliar, la boquilla del equipo que se utiliza debe de tener la mayor presión posible para poder nebulizar el fertilizante, de este modo el líquido aplicado no escurre por las hojas, manteniéndose por mayor tiempo sobre el follaje y tallo de las plantas.
- Aplicar los fertilizantes foliares a las plantas de café como complemento a los fertilizantes que se aplican al suelo.
- Seguir investigando el uso de fertilizantes foliares en otros cultivos, en otras dosis y frecuencia de aplicación.
- Establecer barreras vivas de izote y construir obras de conservación de suelo y agua como cajuelas y banquetas en terrenos con pendientes para disminuir problemas de erosión del suelo u la pérdida de macro y micronutrientes.

6. BIBLIOGRAFÍA

ACCS (Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo). 2002. Fertilización foliar en café, principios y aplicaciones, 10 p (en línea). Consultado 14 de febrero del 2020. En <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Curso%20Fertilizaci%C3%B3n%20Foliar.pdf>

ACCS (Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo). 2002. Fertilización foliar en café, principios y aplicaciones, 10 p (en línea). Consultado 14 de febrero del 2020. En <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Curso%20Fertilizaci%C3%B3n%20Foliar.pdf>

Aldana, M. 2000. Fertilización foliar de cultivo de café. México, Guadalajara. 12 p (en línea). Consultado 21 marzo. 2020. Disponible en: <http://westanalitica.com.mx/wp-content/uploads/2018/05/EI-Cultivo-de-CAFE%CC%81.pdf>.

ANACAFE (Asociación Nacional del Café, Guatemala). s.f. Guía de variedad de café. 21 p (en línea). Consultado 21 marzo. 2020. Disponible en: <https://www.anacafe.org/uploads/file/9a4f9434577a433aad6c123d321e25f9/Gu%C3%ADa-de-variedades-Anacaf%C3%A9.pdf>

Boss, ML. 1991. Some external and internal factors related to the growth cycle of coffee. Tesis Mag. Agr. Turrialba, Costa Rica. 7 p.

- FNC (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia). 2014. La fenología del café, una herramienta para apoyar la toma de decisiones. Colombia. 3-7 p.
- ISIC (Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café). 1990. Fertilización y enmiendas del cafeto. Serie Orientaciones al Caficultor No. 5. El Salvador. s.p.
- Melgar, R. 2005. Aplicación foliar de micronutrientes, México. 2-3 p.
- Nájera, C. 2015. Evaluación de la disponibilidad en el suelo y contenidos de fósforo en plantas de café en respuesta a la aplicación de silicio; finca El Hato, Santa Rosa, Guatemala. 6 p.
- Pérez, A.2007. Efecto de la fertilización foliar orgánica a base de bioles en la producción de café en un entisols de Pucallpa. Tesis Ing. Agr. Pucallpa, Perú, 28 p.
- Portillo, F; Giron, C. 2019. Crisis de los precios del café y sus efectos económicos y sociales en el Salvador, período 1992-2016. Estudios de casos: respuesta de los productores. Tesis Licenciado. El Salvador, Universidad de El Salvador. 33 p.
- Posada, C; Osorio, N. 2010. Fertilización foliar de café, el efecto de la fertilización foliar, Medellín, Argentina, p 1841- 1843.
- Revista El Cafetalero. 2017. Nuevas variedades de café. Información sobre variedades de café: variedad Marsellesa (en línea). Nicaragua. Consultado 15 may. 2018. Disponible en: https://issuu.com/revistaelcafetalero/docs/hoja_tecnica_para_la_variedad_mars
- Trinidad, A; Aguilar, D. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos (en línea). México. Consultado: 15 may. 2018. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57317309> ISSN.
- Vicente Girón, KG. 2016. Evaluación de frecuencias de aplicación de potasio foliar sobre el rendimiento de café. Colomba Costa Cuca, Quetzaltenango. Tesis Ing. Agr. Coatepeque, Guatemala. 24 p.