



<https://revistaagrocienza.wordpress.com/>

Artículo de investigación

Evaluación de cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el desarrollo de la planta de café (*Coffea arabica* L) y en la conservación de humedad disponible para la planta en el suelo

Evaluation of four doses of potassium polyacrylate in the development of the coffee crop (*Coffea arabica* L) and in the conservation of available moisture for the plant in the soil

Solís-López, FG¹; Méndez-Pérez, JC¹; Huevo-Lemus, YC¹; Rodríguez-Urrutia, EA²; Solano-Melara, NS³

RESUMEN

La investigación se realizó de octubre 2018 a abril 2019 en el laboratorio de Química Agrícola y el vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. Se evaluaron cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el desarrollo del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) y en la conservación de humedad en el suelo disponible para las plantas. El estudio se realizó bajo el diseño de cuatro bloques al azar; una unidad experimental de cuatro plantas, con cuatro tratamientos: T1 (5 g), T2 (7 g), T3 (10 g) y T0 (testigo), haciendo un total de 64 plantas. Se tomaron datos como altura de la planta, número y largo de bandolas, volumen y longitud de la raíz principal, días a marchitez de la planta, análisis químico en suelo, planta y del Poliacrilato de Potasio. Para el análisis de los datos se utilizó estadística descriptiva (gráficos y tablas) y la prueba de Tukey, con el programa InfoStats. Para el análisis económico, se realizó un presupuesto de los costos por la aplicación del producto. Se registraron los días sin riego a las plantas de café, obteniendo la mejor media en el tratamiento 3 con un promedio de 126.25 días; al realizar la prueba estadística de Tukey, se obtuvo que los tratamientos 3 (10 g), 2 (7 g) y 1 (5 g) en los cuales se utilizó el Poliacrilato de potasio presentaron los mejores resultados ($p > 0.05$). Se encontró un efecto significativo en las variables altura de la planta y volumen de raíz ($p > 0.05$), en el cual el tratamiento 3 presentó los mejores resultados con una ganancia de altura media de 23.5 cm y un volumen de raíz de 14 cc.

Palabras claves: poliacrilato de potasio, café, *Coffea arabica*, agua, sequía, marchitez, hidrogel.

- 1 Departamento de Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.
- 2 Docente Director, Departamento de Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.
- 3 Docente Director, Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

ABSTRACT

The research was conducted from October 2018 to April 2019, at the nursery of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador, and in the Agricultural Chemistry laboratory. Four doses of Potassium Polyacrylate were evaluated in the development of coffee cultivation (*Coffea arabica* L.) and in the conservation of soil moisture available to plants. The study was carried out under the design of Random Blocks, there were four blocks; an experimental unit of four plants, with four treatments: T1 (5 g), T2 (7 g), T3 (10 g) and T0 (control) making a total of 64 plants. Data were taken such as plant height, number and length of sides, volume and length of the main root, days to wilt of the plant, chemical analysis in soil, plant and Potassium Polyacrylate. For the data analysis, descriptive statistics (graphs and tables) and the Tukey test were used. The InfoStats program was used. For the economic analysis a budget of the costs for the application of the product was made. The days without irrigation were registered to the coffee plants obtaining the best average treatment 3 with an average of 126.25 days; When performing the Tukey statistical test, it was obtained that treatments 3 (10 g), 2 (7 g) and 1 (5 g) in which potassium polyacrylate was used had the best results ($p > 0.05$). A significant effect was found in the variables: plant height and root volume ($p > 0.05$), in which treatment 3 presented the best results with an average height gain of 23.5 cm and a root volume of 14 cc.

Keywords: potassium polyacrylate, coffee, *Coffea arabica*, water, drought, wilt, hydrogel.

INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos y el uso del agua están relacionados de forma inseparable. El agua siempre ha sido el principal factor que limita la producción agrícola en gran parte del mundo, donde la precipitación pluvial no es suficiente para satisfacer la demanda de los cultivos. Con la competencia cada vez mayor por recursos hídricos no renovables en todo el mundo y la creciente demanda de productos agrícolas, nunca antes ha sido tan apremiante la necesidad de mejorar la eficiencia y uso del agua para la producción de cultivos, a fin de garantizar la seguridad alimentaria en el futuro y enfrentar las incertidumbres asociadas con el cambio climático (FAO 2012).

La FAO (2016), menciona que el cambio climático se expresa en diversas transformaciones de variables climáticas que están generando efectos económicos, sociales y ambientales significativos. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Mundiales, son un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad (Martínez 2015). Con esta investigación se buscó contribuir al cumplimiento de los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible: Objetivo 6. Agua limpia y saneamiento y Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio

climático y sus efectos.

Zúñiga, citado por Zapeta (2012), menciona que en la agricultura de acuerdo a las exigencias actuales, se ha ido innovando en cuanto a productos que ayuden a maximizar la productividad por unidad de área, por lo cual, se puede hacer un mejor uso de los recursos naturales, principalmente el agua. La retención de agua en el suelo puede aumentarse con la incorporación de abonos verdes, materia orgánica o la incorporación de polímeros sintéticos que ayuden en este sentido.

Por ello, la importancia de conocer las nuevas tecnologías como los polímeros sintéticos, los cuales son una cadena polimérica que son paralelos el uno del otro y regularmente entrelazados por agentes reticuladores, esto forma una cadena. Cuando el agua entra en contacto con alguna de estas cadenas, es arrastrada dentro de las moléculas por medio de ósmosis. El agua migra rápidamente al interior de la red del polímero donde se almacena. Conforme la tierra se va secando el polímero libera lentamente hasta el 95% del agua que absorbió (Nolasco 2013).

Con el uso de un polímero retenedor de humedad los requerimientos de agua pueden ser minimizados debido a la reducción de las pérdidas por percolación o evaporación. El intervalo entre riegos puede ser duplicado, triplicado o más. Adicionalmente, la reserva extra de agua en el suelo previene a las plantas

de estrés hídrico. Esto es especialmente importante en áreas o épocas con bajas precipitaciones (Zapeta 2012).

Estos polímeros presentan muchos beneficios como: logran captar hasta 500 veces su peso el agua de lluvia, reducen el estrés hídrico de la planta hasta por 28 días o más, es un producto reversible que se carga de nuevo cada vez que el suelo recibe agua, reduce hasta en 50% el uso de agua, aumenta de 10% a 30% el rendimiento del cultivo y de nutrimentos de 40% a 60% en función de la especie, posee una vida útil entre 5 a 7 años, no es tóxico, no tiene efecto sobre las propiedades físicas del agua, ni en la porosidad del suelo (NutriFértil (s.f)).

En consecuencia, por la mejor retención de agua las pérdidas por escurrimiento son reducidas, menos cantidad de agua es requerida y se logra el óptimo crecimiento de la planta. Todo ello permite una reducción tanto en cantidad como en frecuencia de riego. Otro beneficio en la utilización del polímero es el mejoramiento de la estructura del suelo, ya que el polímero absorbe y libera agua, entonces se expande y luego se contrae. Este movimiento físico ayuda a mantener una estructura abierta, la cual mantiene buena ventilación del suelo y promueve un vigoroso crecimiento de raíz (Gonzales 2014).

Por ello la importancia de ésta investigación, ya que actualmente en El Salvador no se tiene suficiente información sobre el uso del poliacrilato de potasio en el cultivo de café (*Coffea arabica* L), ni en otros cultivos que se producen en el país, por eso se evaluó el comportamiento de cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el desarrollo del cultivo de café (*Coffea arabica* L) y en la conservación de humedad en el suelo disponible para las plantas, con esto se buscó conocer la cantidad adecuada de producto a aplicar y disminuir los impactos de la sequía ocasionadas por el cambio climático en la producción agrícola y en la seguridad alimentaria de la población humana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se realizó en el periodo de octubre 2018 a abril 2019, en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicado en la Ciudad Universitaria en San Salvador, El Salvador, con coordenadas Latitud N 89°12'01.21" y Longitud W 13°43'08.83", una elevación de 698 metros sobre el nivel del mar, una temperatura media anual de 23°C, una humedad relativa de 72% y una precipitación promedio de 1,801 mm al año.

Metodología de campo

La investigación se realizó bajo un diseño de Bloques Completos al Azar, se establecieron 4 bloques, una unidad experimental de 4 plantas de café, teniendo 16 plantas por tratamiento y un total de 64 plantas. Se utilizaron 3 dosis de poliacrilato de potasio (lluvia sólida): 5 g (T1), 7 g (T2) y 10 g (T3), y un Testigo (T0) el cual no contenía Poliacrilato de potasio, distribuidas en cuatro tratamientos. El poliacrilato de potasio se aplicó al momento del trasplante de las plantas, es decir, al momento de realizar la siembra de las plantas de café en las macetas plásticas (Figura 1).

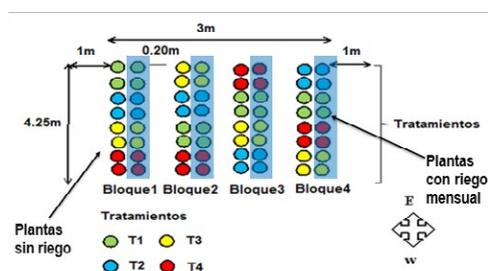


Figura 1. Distribución de los tratamientos en la parcela del ensayo y forma de riego.

Se estableció en un invernadero bajo condiciones controladas, para ello se utilizaron plantas de café de la variedad Cuscatleco listas para trasplantar, como sustrato se utilizó tierra de textura franca. Los recipientes plásticos o macetas se llenaron con tierra hasta una altura de 15 cm, encima se colocaron las plantas de café y luego se aplicaron las diferentes

dosis del poliacrilato de potasio ya hidratado, este se aplicó alrededor del pilón de la planta de café, para luego completar el llenado de los recipientes con tierra hasta el borde superior.

Después de realizar el trasplante de todas las plantas de café, se hizo el traslado y ordenado de los bloques dentro del invernadero, con una separación de 0.10 m entre cada recipiente y una separación entre cada bloque de 0.50 m, se contó con una parcela de 5 m de largo por 5 m de ancho; las macetas fueron previamente identificadas según el tratamiento y el bloque al que pertenecían.

Fertilización y riego

Se realizaron tres aplicaciones de fertilizante granulado al suelo, utilizando fórmula 15-15-15, la primera fertilización se aplicó el día del trasplante con una dosis de 2 onzas (oz) por planta, la segunda se hizo dos meses después de la primera con una dosis de 2 oz por planta, y la tercera fertilización se aplicó dos meses después de la segunda fertilización con dosis de 2 oz por planta, esto se realizó para todos los tratamientos.

El riego se aplicó a las plantas al momento del trasplante para humedecer el suelo hasta saturación y se regaron todas las plantas incluyendo el testigo, posteriormente se realizaron riegos cada mes, pero solo a la mitad de las plantas en todos los tratamientos y el testigo, a las cuales se les tomó datos de las diferentes variables como se muestra en la Figura 1.

Toma de datos en campo

Todos los datos obtenidos durante la investigación se anotaron en una libreta de campo y posteriormente fueron trasladados a cuadros en Excel®. Los datos se tomaron cada 15 días durante seis meses y fueron: altura de la planta, se tomó desde el nivel del suelo hasta la parte apical con una cinta métrica; largo de bandolas, se tomó en el segundo par de bandolas (segunda cruz), de abajo hacia arriba; se contaron el número de bandolas por planta; se midió el diámetro del tallo de cada planta con un pie de rey digital; la

longitud de la raíz principal o pivotante se midió al finalizar la investigación, para ello las plantas de café se sacaron de cada recipiente, se lavaron para quitar la tierra, se dejaron secar y fueron colocadas en una tela roja para medirlas desde la unión con el tallo hasta la punta de la raíz principal; el volumen de las raíces se determinó sumergiendo todas las raíces (raíz principal, raíces secundarias, raíces terciarias y raicillas) en una probeta con un volumen de agua conocido, la diferencia de volúmenes fue el dato que indicó el volumen de la raíz; y para conocer los días a marchitez o cuantos días pueden vivir las plantas de café sin riego, estas se regaron únicamente el día del trasplante, después de ese riego no se le aplicó agua a la mitad de las plantas (32 plantas de 64) de todos los tratamientos y se tomó el dato el día que llegaron a Punto de Marchitez Permanente.

Análisis de laboratorio

Análisis de suelo

Se realizaron 5 análisis de suelo, el primero al inicio de la investigación para todo el suelo que fue utilizado en el llenado de las macetas. Los otros 4 análisis se realizaron al final de la investigación, uno por cada tratamiento, para la muestra se tomaron porciones de suelo de cada uno de los recipientes de cada tratamiento hasta completar 2 libras de suelo. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, los elementos que se analizaron fueron: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, pH y materia orgánica. El aluminio se analizó en el laboratorio del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA).

Análisis Foliar

Se realizaron 5 análisis foliares, el primero al inicio de la investigación para todas las plantas de café que fueron utilizadas. Los otros 4 análisis se realizaron al final de la investigación, uno por cada tratamiento, para la formación de la muestra se tomaron dos plantas que formaron cada tratamiento. Las muestras

fueron analizadas en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, los elementos que se analizaron fueron: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Análisis del Poliacrilato de Potasio

Se realizó al inicio de la investigación para conocer la concentración del potasio en el Poliacrilato de Potasio.

Análisis de los datos

La investigación se realizó bajo un diseño de Bloques Completos al Azar, para el análisis de datos se utilizó estadística descriptiva (gráficos y tablas) y la prueba de Tukey. Para analizar los datos se utilizó el programa InfoStat, con una probabilidad de 0.05. Cada tratamiento contó con 4 repeticiones, las cuales estuvieron en los distintos bloques. El número de unidades experimentales por tratamiento fue de 4 plantas de café, teniendo un total de 64 plantas. Para el análisis químico en suelo, se analizó una muestra por tratamiento. Las variables en estudio fueron la variable independiente el uso del poliacrilato de potasio y la variable dependiente la conservación de humedad en el suelo.

Metodología Económica

Para el análisis económico se realizó un presupuesto parcial de costos por la utilización del poliacrilato de potasio, obteniendo los costos unitarios y costos por manzana (7,000m²) con dos densidades de siembra de plantas de café, esto por cada tratamiento al cual se le aplico el poliacrilato de potasio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Días a marchitez de las plantas

La dosis de poliacrilato de potasio que conservó la humedad en el suelo disponible para las plantas de café por más tiempo fue el T3 con una duración promedio de 126.25 días (4 meses con 6.25 días), esto después de la aplicación del poliacrilato de potasio y

el riego al inicio de la investigación. La segunda dosis que presento los mejores resultados fue el T2 con una duración promedio de 122.50 días; seguido por el T1 con una duración promedio de 120.50 días. El tratamiento que proporcionó el menor promedio de días hasta la marchitez de las plantas fue el T0 con una duración promedio de 94.75 días (3 meses con 4.75 días) (Figura 2).



Figura 2. Promedio de días a marchitez de las plantas de café.

Estadísticamente los tratamientos en estudio obtuvieron diferencias significativas sobre la variable días a marchitez de las plantas (Cuadro 1), con una probabilidad de 0.05, por lo tanto, se continuó con el análisis estadístico.

Cuadro 1. Análisis de varianza para días a marchitez de plantas.

FV.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2600.00	6	433.33	10.21	0.0014
Tratamientos	2476.50	3	825.50	19.45	0.0003
Bloques	123.50	3	41.17	0.97	0.4485
Error	382.00	9	42.44		
Total	2982.00	15			

Al realizar la prueba estadística de Tukey (Cuadro 2), se obtuvo que los tratamientos en los cuales se utilizó el poliacrilato de potasio, Tratamiento 3, 2 y 1, presentaron los mejores resultados sobre la variable días a marchitez, y el tratamiento que presentó los menores resultados fue el Tratamiento 0 (Testigo), en el cual no se utilizó el polímero.

Cuadro 2. Prueba de Tukey para la variable días a marchitez.

Tratamientos	Medias	N	E.E.	
3	126.25	4	3.26	A
2	122.50	4	3.26	A
1	120.50	4	3.26	A
4	94.75	4	3.26	B

Altura de las plantas

La dosis de poliacrilato de potasio con la que se obtuvo el mayor incremento de altura de las plantas de café fue el T3 con un incremento de altura promedio de 21.56 cm; seguido por el T2 con 20.56 cm; luego el T1 con un incremento de altura promedio de 20.12 cm. El tratamiento con el que se obtuvo el menor incremento de altura promedio de las plantas fue el T0 con 13.91 cm (Figura 3).



Figura 3. Altura promedio de las plantas de café.

Al realizar el Análisis de varianza (Cuadro 3), estadísticamente los tratamientos en estudio obtuvieron diferentes efectos en la variable altura de la planta, con una probabilidad de 0.05, por lo tanto, se realizó la prueba de Tukey.

Cuadro 3. Análisis de varianza para altura de plantas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	233.95	6	38.99	5.01	0.0203
Tratamientos	116.41	3	38.80	4.98	0.0308
Bloques	117.54	3	39.18	5.03	0.0301
Error	62.28	8	7.79		
Total	296.23	14			

Al realizar la prueba de Tukey (Cuadro 4),

estadísticamente los tratamientos que presentaron los mejores resultados sobre la variable altura de planta fueron los Tratamientos 3, 2 y 1, en los cuales se utilizó poliacrilato de potasio en diferentes dosis.

Cuadro 4. Prueba de Tukey para altura de las plantas.

Tratamientos	Medias	N	E.E.	
3	21.56	4	1.40	A
2	20.56	4	1.40	A
1	20.13	4	1.40	A B
4	13.92	3	1.61	B

Los resultados obtenidos en ésta investigación son similares a los obtenidos por Zapeta (2015), quien obtuvo los mejores resultados en la altura de las plantas de Rambután (*Nephelium lappaceum* L.) cuando utilizó un hidrorretenedor en dosis de 2 y 3 gramos.

Diámetro del tallo de las plantas

La dosis de poliacrilato de potasio con la que se obtuvo el mayor diámetro del tallo de las plantas de café o mayor grosor fue el T3 con un diámetro promedio de 7.27 mm; seguido por el T2 con 7.09 mm; luego el T1 con un diámetro promedio de 7.05 mm. El tratamiento con el que se obtuvo el menor diámetro promedio de las plantas fue el T0 con un diámetro promedio de 7.01 mm (Figura 4).

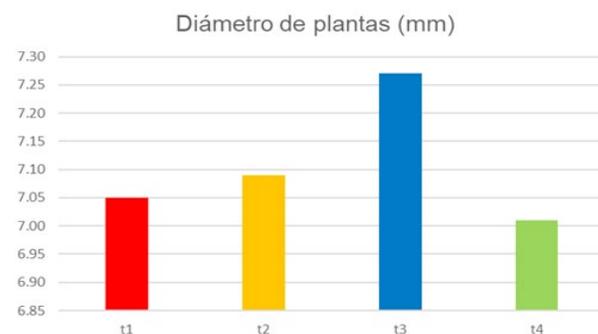


Figura 4. Diámetro promedio del tallo de las plantas de café.

Quando se realizó el análisis de varianza (Cuadro 5), estadísticamente los tratamientos en estudio obtuvieron iguales efectos en la variable diámetro

del tallo de las plantas de café, con una probabilidad de 0.05, ya que las medias obtenidas son similares. Zapeta (2015), observó que las plantas del cultivo de rambután (*Nephelium lappaceum* L.) presentaron diámetros de los tallos similares entre los tratamientos cuando se utilizó el poliacrilato de potasio.

Cuadro 5. Análisis de varianza para el diámetro de los tallos de las plantas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.05	6	0.34	1.82	0.2120
Tratamientos	0.15	3	0.05	0.27	0.8448
Bloques	1.90	3	0.63	3.37	0.0752
Error	1.50	8	0.19		
Total	3.55	14			

Longitud de raíz

La dosis de poliacrilato de potasio con la que se obtuvo una longitud mayor de la raíz principal de las plantas de café fue el T1 con una longitud promedio de 38.50 cm; seguido por el T2 con 38.40 cm; luego el T3 con una longitud promedio de 33 cm. El tratamiento con el que se obtuvo una longitud menor de raíz de las plantas fue el T0 con una longitud promedio de 30.60 cm (Figura 5).

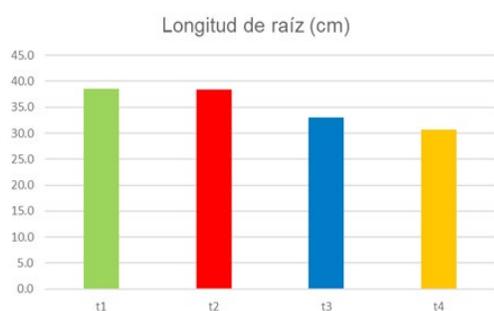


Figura 5. Longitud de la raíz principal promedio en las plantas de café.

Estadísticamente los tratamientos en estudio presentaron diferencias no significativas en la variable longitud de raíz, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 6). Zapeta (2015), evaluó polímeros en plantas de rambután (*Nephelium lappaceum* L.) y no obtuvo resultados significativos en la longitud de la raíz principal.

Cuadro 6. Análisis de varianza para la longitud de la raíz principal.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	227.75	6	37.96	0.84	0.5701
Tratamientos	186.88	3	62.29	1.38	0.3116
Bloques	40.87	3	13.63	0.30	0.8241
Error	407.50	9	45.28		
Total	635.25	15			

Volumen de raíz

El volumen de raíz se tomó al final de la investigación. Las dosis de poliacrilato de potasio con las que se obtuvo el mayor volumen de raíz de las plantas de café fue el T3 y T2, ambas con 14 cc; luego el T1 con un volumen de raíz promedio de 12 cc. El tratamiento con el que se obtuvo el menor volumen de raíz promedio de las plantas fue el T0 con un volumen de raíz promedio de 8 cc (Figura 6).

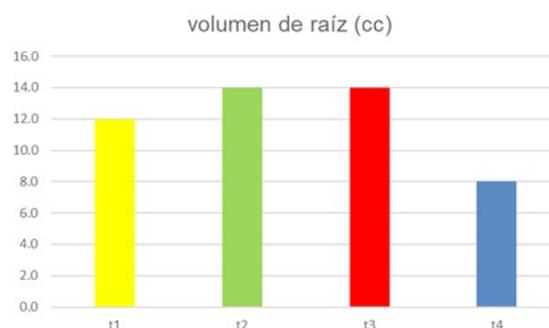


Figura 6. Promedio del volumen de raíz de las plantas de café.

Estadísticamente los tratamientos en estudio produjeron diferentes resultados en la variable volumen de la raíz, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 7), por lo tanto, se realizó el análisis de Tukey (Cuadro 8). Al realizar la prueba de Tukey, estadísticamente se comprobó que el poliacrilato de potasio influye en el volumen de raíz de las plantas de café, porque los tratamientos con el polímero, sin importar las dosis, produjeron mejores efectos que el testigo. Según NutriFértil (s.f.), al obtener un mayor volumen de raíz se aumenta el área radicular, por lo tanto, la planta tiene mayor capacidad de absorción de agua y de nutrientes, mejorando el desarrollo de

toda la planta.

Cuadro 7. Análisis de varianza para volumen de raíces de las plantas de café.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	67.65	6	11.28	8.42	0.0102
Tratamientos	57.69	3	19.23	14.35	0.0038
Bloques	9.96	3	3.32	2.48	0.1586
Error	8.04	6	1.34		
Total	75.69	12			

Cuadro 8. Prueba de Tukey para volumen de raíces de las plantas de café.

Tratamientos	Medias	N	E.E.		
3	14.00	4	1.03	A	
2	14.00	4	1.03	A	
1	12.00	4	1.03	A	B
4	8.00	4	1.03		B

Número de bandolas por planta

La dosis de poliacrilato de potasio con la que se obtuvo el mayor número de bandolas por planta de café fue el T1 y el T2 con un número de bandolas promedio de 12; seguido por el T3 y el T0 con un número de bandolas promedio de 11 (Figura 7).

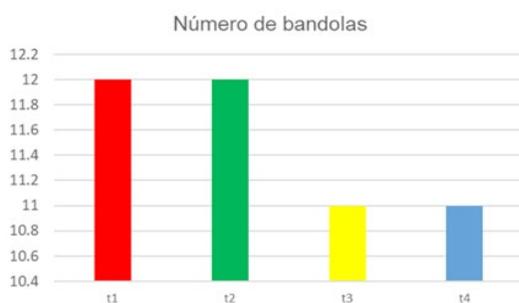


Figura 7. Número de bandolas por planta de café.

Estadísticamente los tratamientos en estudio no presentaron diferencias significativas en la variable número de bandolas, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de varianza para número de bandolas por planta de café.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12.59	6	2.10	0.89	0.5420
Tratamientos	5.03	3	1.68	0.71	0.5714
Bloques	7.57	3	2.52	1.07	0.4134
Error	18.81	8	2.35		
Total	31.40	14			

Largo de bandolas

La dosis de poliacrilato de potasio con la que se obtuvo el mayor largo de bandolas de las plantas de café fue el T3, con un largo promedio de 18.94 cm; seguido por el T0, con un largo promedio de 18.83 cm; luego el T2, con un largo promedio de 18.28 cm. El tratamiento con el que se obtuvo el menor largo de bandola promedio fue el T1, con un largo promedio de 16.16 cm (Figura 8).

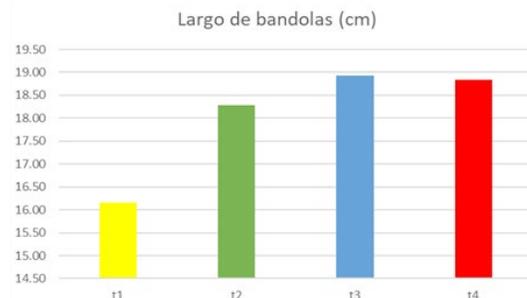


Figura 8. Largo de bandolas de las plantas de café.

Los tratamientos no mostraron diferencias estadísticas con efectos significativos sobre la variable largo de bandolas, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 10). Esto demuestra que el Poliacrilato de potasio, no tiene influencia en el largo de las bandolas de las plantas de café.

Cuadro 10. Análisis de varianza para el largo de bandolas de café.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	57.81	6	9.64	2.69	0.0983
Tratamientos	19.51	3	6.50	1.82	0.2223
Bloques	38.30	3	12.77	3.56	0.0669
Error	28.66	8	3.58		
Total	86.48	14			

Análisis químicos

Contenido de potasio en el poliacrilato de potasio

Al realizar el análisis de laboratorio al poliacrilato de potasio, presentó un contenido de 8.74% de potasio. La casa comercial no presenta un porcentaje exacto del contenido de potasio del producto, solo presenta el porcentaje de la composición del ácido poliacrílico y sal de potasio en un 96% de la mezcla.

Análisis del suelo

Contenido de nitrógeno en el suelo

Según los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, el suelo utilizado en la investigación al inicio presentó un contenido de nitrógeno de 0.2335%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de nitrógeno fue 0.439%; en el T2 el contenido de nitrógeno fue de 0.358%; en el T3 el contenido de nitrógeno fue 0.411%; y en el T0 el contenido de nitrógeno fue 0.395% (Figura 9). Las plantas fueron fertilizadas con fórmula 15-15-15, en dosis de 2 onzas por planta, realizando tres fertilizaciones.

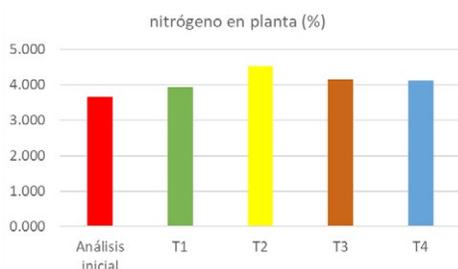


Figura 9. Contenido de Nitrógeno en el suelo.

Contenido de fósforo en el suelo

Según los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, el suelo utilizado en la investigación al inicio presentó un contenido de fósforo (P_2O_5) de 0.0755%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de fósforo fue 0.164%; en el T2 el contenido de fósforo fue de 0.144%; en el T3 el contenido de fósforo fue 0.143%; y en el T0 el contenido de fósforo fue de 0.108% (Figura 10). Los resultados de fósforo obtenidos en el análisis de suelo son altos al compararlos con la tabla de interpretación de análisis de suelo de PROCAFE (2007), la cual muestra un nivel óptimo de fósforo de 20 a 45 ppm (0.002 a 0.0045%).



Figura 10. Contenido de fósforo en el suelo.

Contenido de potasio en el suelo

Según los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, el suelo utilizado en la investigación al inicio presentó un contenido de potasio de 0.08%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de potasio fue 0.11%; en el T2 y en el T3 el contenido de potasio fue de 0.10% en cada uno; y en el T0 el contenido de potasio fue 0.09% (Figura 11). Los resultados de potasio obtenidos en el análisis de suelo son altos al compararlos con la tabla de interpretación de análisis de suelo de PROCAFE (2007), la cual muestra un nivel óptimo de potasio de 200 a 282 ppm (0.02 a 0.0285%).

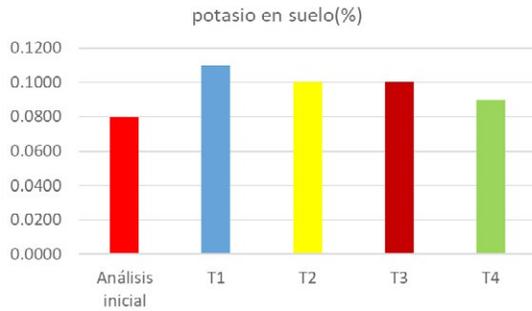


Figura 11. Contenido de potasio en el suelo.

Contenido de calcio en el suelo

Según los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, el suelo utilizado en la investigación al inicio presentó un contenido de calcio de 0.330%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de calcio fue 0.426%; en el T2 el contenido de calcio fue de 0.450%; en el T3 el contenido de calcio fue 0.329%; y en el T0 el contenido de calcio fue 0.325% (Figura 12). Los resultados de calcio obtenidos en el análisis de suelo son altos al compararlos con la tabla de interpretación de análisis de suelo de PROCAFE (2007), la cual muestra un nivel óptimo de calcio de 5 a 11.25 ppm (0.1 a 0.225%).



Figura 12. Contenido de calcio en el suelo.

Contenido de magnesio en el suelo

Según los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, el suelo utilizado en la investigación al inicio presentó un contenido de magnesio de 0.0400%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de magnesio fue 0.149%; en el T2 el contenido de magnesio fue de 0.147%; en

el T3 el contenido de magnesio fue 0.226%; y en el T0 el contenido de magnesio fue 0.156% (Figura 13). Los resultados obtenidos en el análisis inicial son bajos, mientras que los resultados de magnesio en el análisis de suelo final son óptimos para todos los tratamientos, al compararlos con la tabla de interpretación de análisis de suelo de PROCAFE (2007), la cual muestra un nivel óptimo de 0.82 a 1.85 ppm (0.1 a 0.225%).

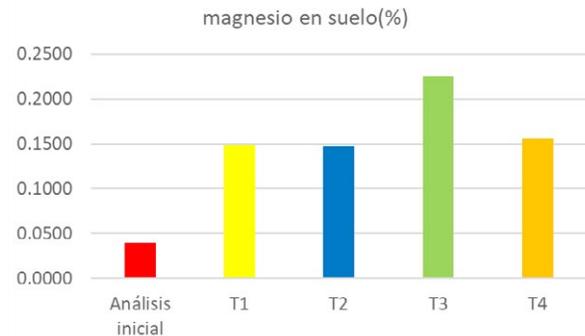


Figura 13. Contenido de magnesio en el suelo.

Contenido de materia orgánica en el suelo

Según los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, el suelo utilizado en la investigación al inicio presentó un contenido de materia orgánica de 8.82%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de materia orgánica fue 7.430%; en el T2 el contenido de materia orgánica fue de 7.069%; en el T3 el contenido de materia orgánica fue 6.914%; y en el T0 el contenido de materia orgánica fue 7.362% (Figura 14). Los resultados de materia orgánica en el análisis de suelo son altos al compararlos con la tabla de interpretación de análisis de suelo de PROCAFE (2007), en la cual se muestra un nivel óptimo de 2.1 a 5.7%.



Figura 14. Contenido de materia orgánica en el suelo.

pH del suelo

Según los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, el suelo utilizado en la investigación al inicio presentó un valor de pH de 7.20, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el pH fue 4.65; en el T2 el pH fue de 4.52; en el T3 el pH fue 4.13; y en el T0 el pH fue 3.98 (Figura 15). Al finalizar la investigación el suelo de cada tratamiento presentó disminución en el valor de pH con respecto al valor al inicio de la investigación, esto es debido a la aplicación del fertilizante fórmula 15-15-15 en dosis de 2 onzas por planta (PROCAFE 2007). Según CENTA (2016), el pH es una propiedad química del suelo, muy importante especialmente por su carácter orientador del comportamiento de los elementos del suelo, ya que los elementos más importantes para el desarrollo de la planta son asimilables cuando el pH es neutro.

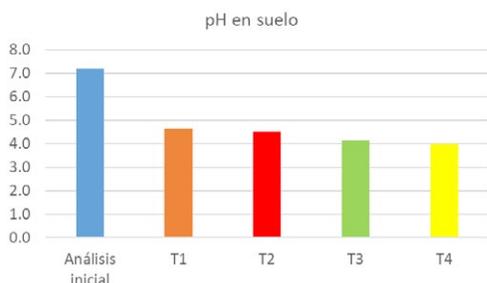


Figura 15. Valor de pH en el suelo.

Acidez intercambiable en el suelo

Según los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, el suelo utilizado en la investigación al inicio presentó una acidez intercambiable (H + Al) cmol kg⁻¹ de 0.04, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 la acidez intercambiable fue 0.40; en el T2 la acidez intercambiable fue de 0.28; en el T3 la acidez intercambiable fue 0.54; y en el T0 la acidez intercambiable fue de 0.58 (Figura 16). Según los resultados, todos los tratamientos aumentaron el valor de la acidez intercambiable, lo cual es inversamente proporcional al valor obtenido en el pH, ya que, si el valor de la acidez es alto, el pH es bajo, por lo que se considera que el aumento de la acidez es por el uso del fertilizante fórmula 15-15-15. Los

resultados obtenidos de la acidez intercambiable para los tratamientos 1 y 2 son bajos, y para los tratamientos 3 y 0 (testigo) es medio; esto es importante, ya que si los valores son altos la asimilación de los elementos como el P, K, Ca y Mg es menor.

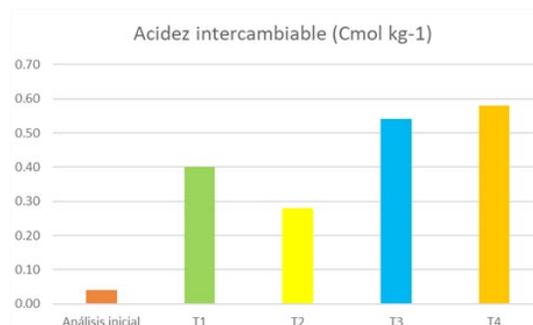


Figura 16. Contenido de acidez intercambiable en el suelo.

Análisis foliar

Contenido de nitrógeno en el follaje de las plantas

Según los resultados del análisis foliar en el laboratorio, el follaje de las plantas de café utilizadas en la investigación al inicio presentó contenido de nitrógeno de 3.65%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de nitrógeno fue 3.950%; en el T2 el contenido de nitrógeno fue de 4.527%; en el T3 el contenido de nitrógeno fue 4.167%; y en el T0 el contenido de nitrógeno fue 4.125% (Figura 17). Los resultados del nitrógeno son altos en el follaje al compararlos con el cuadro niveles de interpretación de nutrientes en las hojas de PROCAFE (2007), en el cual muestra un nivel óptimo de 2.5 a 3%.

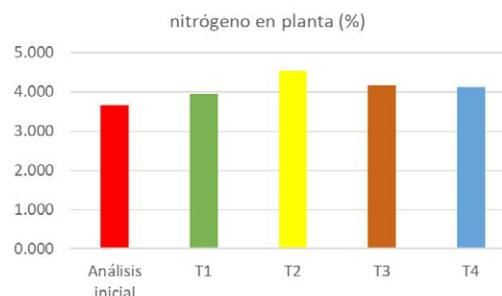


Figura 17. Contenido de nitrógeno en el follaje de las plantas de café.

Contenido de fósforo en el follaje de las plantas

Según los resultados del análisis foliar, el follaje de las plantas de café al inicio presentó contenido de fósforo de 0.4349%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de fósforo fue 0.234%; en el T2 el contenido de fósforo fue de 0.238%; en el T3 el contenido de fósforo fue 0.274%; y en el T0 el contenido de fósforo fue de 0.209% (Figura 18). El resultado obtenido en el análisis inicial presenta un nivel alto, mientras que los resultados obtenidos al finalizar la investigación los niveles de fósforo son óptimos en el follaje de las plantas para todos los tratamientos, al compararlos con el cuadro niveles de interpretación de nutrientes en las hojas de PROCAFE (2007), en el cual muestra un nivel óptimo de 0.15 a 0.30%.

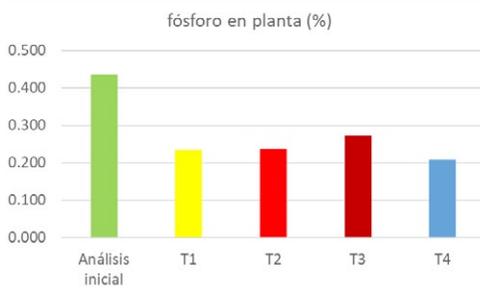


Figura 18. Contenido de fósforo en el follaje de las plantas.

Estadísticamente los tratamientos producen efectos significativos sobre la variable contenido de fósforo en el follaje de las plantas de café, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza para el contenido de fósforo en el follaje.

FV.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.04	5	0.01	94.13	0.0017
Tratamientos	0.04	4	0.01	117.60	0.0013
Bloques	2.1E-05	1	2.1E-05	0.26	0.6463
Error	2.5E-04	3	8.2E-05		
Total	0.04	8			

Al realizar la prueba de Tukey (Cuadro 12), estadísticamente se demostró que el tratamiento 5, el cual es el análisis inicial, presenta los mejores resultados seguido de los tratamientos 3, luego el tratamiento 2 y 1 con resultados similares, y con los menores resultados el tratamiento 4, con esto se demuestra que el Poliacrilato de potasio influye en el contenido de fósforo en las plantas de café, esto a pesar que las medias obtenidas son similares.

Cuadro 12. Prueba de Tukey para fósforo en el follaje de las plantas.

Tratamientos	Medias	N	E.E.	
5	0.43	1	0.01	A
3	0.27	2	0.01	B
2	0.24	2	0.01	B C
1	0.23	2	0.01	B C
4	0.21	2	0.01	C

Contenido de potasio en el follaje de las plantas

Según los resultados del análisis foliar en el laboratorio, el follaje de las plantas de café utilizado en la investigación al inicio presentó contenido de potasio de 1.72%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de potasio fue 1.62%; en el T2 el contenido de potasio fue de 1.70%; en el T3 el contenido de potasio fue 1.45%; y en el T0 el contenido de potasio fue 1.22% (Figura 19). Los resultados de potasio en el follaje son bajos al compararlos con el cuadro Niveles de interpretación de nutrientes en las hojas de PROCAFE (2007), en el cual muestra un nivel óptimo de 2.20 a 3.0%.

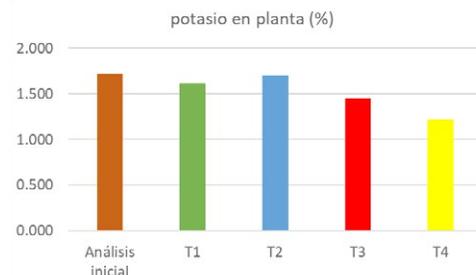


Figura 19. Contenido de potasio en el follaje de las plantas.

Estadísticamente los tratamientos producen resultados no significativos en la variable contenido de potasio en el follaje de las plantas de café, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 13), con esto se demuestra que el poliacrilato de potasio no incide en el porcentaje de potasio presente en el follaje de las plantas de café.

Cuadro 13. Análisis de varianza para el contenido de potasio en el follaje.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.41	5	0.08	7.15	0.0681
Tratamientos	0.40	4	0.10	8.72	0.0531
Bloques	0.01	1	0.01	0.89	0.4154
Error	0.03	3	0.01		
Total	0.44	8			

Contenido de calcio en el follaje de las plantas

Según los resultados del análisis foliar en el laboratorio, los follajes de las plantas de café utilizadas en la investigación al inicio presentaron un contenido de calcio de 0.600%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de calcio fue 0.903%; en el T2 el contenido de calcio fue 0.520%; en el T3 el contenido de calcio fue 0.504%; y en el T0 el contenido de calcio fue 0.271% (Figura 20). Los resultados de calcio son bajos en el follaje al compararlos con el cuadro niveles de interpretación de nutrientes en las hojas de PROCAFE (2007), en el cual se muestra un nivel óptimo de 1.0 a 2.0%.

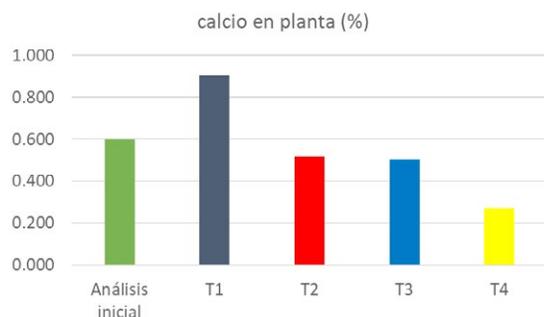


Figura 20. Contenido de calcio en el follaje de las plantas.

Al realizar el análisis de varianza, estadísticamente los tratamientos presentan diferentes resultados sobre la variable contenido de calcio en el follaje de las plantas, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis de varianza para calcio en el follaje de las plantas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.42	5	0.08	9.08	0.0495
Tratamientos	0.41	4	0.10	11.19	0.0379
Bloques	0.01	1	0.01	0.62	0.4888
Error	0.03	3	0.01		
Total	0.45	8			

Estadísticamente el tratamiento que presenta los mejores resultados es el T1, seguido por los T2, 3 y 5 (análisis al inicio de la investigación). El T0 obtuvo los menores resultados, estos resultados concuerdan con los resultados descriptivos, por lo que el poliacrilato de potasio si influye en el contenido de calcio en el follaje de las plantas (Cuadro 15).

Cuadro 15. Prueba de Tukey para calcio en el follaje de las plantas de café.

Tratamientos	Medias	N	E.E.		
1	0.90	2	0.07	A	
5	0.60	1	0.10	A	B
2	0.52	2	0.07	A	B
3	0.50	2	0.07	A	B
4	0.27	2	0.07		B

Contenido de magnesio en el follaje de las plantas

Según los resultados del análisis foliar en el laboratorio, el follaje de las plantas de café utilizadas en la investigación al inicio presentaron un contenido de magnesio de 0.17%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de magnesio fue 0.386%; en el T2 el contenido de magnesio fue 0.370%; en el T3 el contenido de magnesio fue 0.357%; y en el T0 el contenido de magnesio fue 0.363% (Figura 21). Los resultados de magnesio en el follaje en el análisis inicial fueron bajos y en los análisis finales

están en un nivel adecuado, al compararlos con el cuadro Niveles de interpretación de nutrientes en las hojas de PROCAFE (2007), el cual muestra un nivel óptimo de 0.25 a 0.4%.



Figura 21. Contenido de magnesio en el follaje de las plantas.

Según el Análisis de Varianza, los tratamientos con poliacrilato de potasio presentan diferencias significativas sobre la variable contenido de magnesio en el follaje de las plantas, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 16).

Cuadro 16. Análisis de varianza para magnesio en el follaje de las plantas.

FV.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.04	5	0.01	12.33	0.0325
Tratamientos	0.04	4	0.01	15.34	0.0245
Bloques	1.7E-04	1	1.7E-04	0.29	0.6269
Error	1.8E-03	3	5.9E-04		
Total	0.04	8			

Al realizar la prueba de Tukey se demostró estadísticamente que los tratamientos 1, 2, 3 y 0 presentan resultados similares entre ellos, y mayor que el análisis inicial, por lo que se demuestra que el poliacrilato de potasio no influye en el contenido de magnesio en el follaje de las plantas de café, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 17).

Cuadro 17. Prueba de Tukey para contenido de magnesio en el follaje de las plantas.

Tratamientos	Medias	N	E.E.	
1	0.39	2	0.02	A
2	0.37	2	0.02	A
4	0.36	2	0.02	A
3	0.36	2	0.02	A
5	0.17	1	0.02	B

Determinación del costo de la aplicación del poliacrilato de potasio en el cultivo del café

Análisis económico

En el Cuadro 18, se describen los costos por manzana (una manzana de terreno es igual a 0.7 Hectáreas (Ha) que corresponde a 7,000m²) de la aplicación del poliacrilato de potasio en el cultivo del café, usando tres dosis: 5 g, 7 g y 10 g por planta, para lo cual se ha realizado un ejercicio para la siembra de café variedad Cuscatleco en dos densidades de siembra, 2,500 plantas por manzana y para 3,333 plantas por manzana.

Para el tratamiento 1 de 5 g/planta, con una densidad de siembra de 2,500 plantas/mz, se tiene una inversión por planta de USD\$0.09 dólares y una inversión por manzana de USD\$218.75 dólares; y para 3,333 plantas por manzana se tiene una inversión de USD\$297.50 dólares.

Para el tratamiento 2 de 7 g/planta, con una densidad de siembra de 2,500 plantas/mz, se tiene una inversión por planta de USD\$0.12 dólares y una inversión por manzana de USD\$306.25 dólares; y para 3,333 plantas por manzana se tiene una inversión de USD\$411.25 dólares.

Para el tratamiento 3 de 10 g/planta, con una densidad de siembra de 2,500 plantas/mz, se tiene una inversión por planta de USD\$0.18 dólares y una inversión por manzana de \$437.50 dólares; y para 3,333 plantas por manzana se tiene una inversión de \$595.00 dólares (Cuadro 18).

Cuadro 18. Costos por manzana de aplicación del Poliacrilato de potasio en café.

Variedad de café	Plantas de café/mz	Poliacrilato de potasio por planta	Poliacrilato de potasio por manzana	Costo del Poliacrilato de potasio	Costo del Poliacrilato de potasio/planta	Costo del Poliacrilato de potasio/manzana
Cuscatleco	2,500	Trat. 1, 5 g	12.5 kg	\$17.50/kg	\$0.09	\$218.75
Cuscatleco	3,333	Trat. 1, 5 g	17 kg	\$17.50/kg	\$0.09	\$297.50
Cuscatleco	2,500	Trat. 2, 7 g	17.5 kg	\$17.50/kg	\$0.12	\$306.25
Cuscatleco	3,333	Trat. 2, 7 g	23.5 kg	\$17.50/kg	\$0.12	\$411.25
Cuscatleco	2,500	Trat. 3, 10 g	25 kg	\$17.50/kg	\$0.18	\$437.50
Cuscatleco	3,333	Trat. 3, 10 g	34 kg	\$17.50/kg	\$0.18	\$595.00

Otros resultados obtenidos

Cuando las plantas de café fueron estimuladas con la humedad en el suelo por la presencia del poliacrilato de potasio hidratado, se observaron cambios en las plantas, como: floración en los primeros seis meses después del trasplante. La variedad Cuscatleco proviene del híbrido Sarchimor T-5296, originado del cruce de la variedad Villa Sarchí 971/10 y el Híbrido de Timor CIFC 832/2; esta variedad posee alto vigor híbrido, de producción precoz, con resistencia a la roya (ANACAFE s.f.).

CONCLUSIONES

El poliacrilato de potasio en dosis de 10 g por planta conservó la humedad en el suelo disponible para las plantas de café por un periodo de 126.25 días (4 meses con 6.25 días) en comparación con las plantas utilizadas como Testigo que vivieron 94.75 días (3 meses con 4.75 días), con una diferencia de 31.5 días (1 mes con 1.5 días).

En las plantas de café donde se aplicó el poliacrilato de potasio en dosis de 10 g por planta se obtuvo un incremento de altura de 21.56 cm en comparación con las plantas de café utilizadas como Testigo que tuvieron un incremento de altura de 13.91 cm, con una diferencia de 7.65 cm, lo que significa mayor desarrollo del follaje de las plantas.

En las plantas de café donde se aplicó el poliacrilato

de potasio en dosis de 10 g por planta y de 7 g por planta se obtuvo un volumen de raíces de 14 cc en comparación con las plantas de café utilizadas como testigo que tuvieron un volumen de raíces de 8 cc, con una diferencia de 6 cc, lo que se traduce en mayor capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes, y mayor tolerancia a plagas del suelo.

El uso del poliacrilato de potasio no influye en el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y calcio en el suelo y nitrógeno, potasio y magnesio en el follaje de las plantas de café, ya que no hay diferencias estadísticas en los tratamientos.

El uso del poliacrilato de potasio influye en el contenido de fósforo y calcio en el follaje de las plantas de café, ya que hay diferencias estadísticas en los tratamientos.

El uso del poliacrilato de potasio en una finca cultivada con 2,500 plantas de café de la variedad Cuscatleco aumenta los costos de producción en USD\$437.50 dólares por manzana (0.7 Ha), pero ante los efectos del cambio climático como reducción de la época de lluvias y aumento de los periodos secos, las plantas pueden tolerar estos efectos por más tiempo que en una finca tradicional, ya que se disminuye la muerte de las plantas y se aumenta el desarrollo de las mismas.

