

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



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

Por:

Franklin Geovany Solís López
Yolanda del Carmen Huevo Lemus
Jenny Carolina Méndez Pérez

Ciudad Universitaria, noviembre de 2019

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



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

Por:

Franklin Geovany Solís López
Yolanda del Carmen Huevo Lemus
Jenny Carolina Méndez Pérez

Ciudad Universitaria, noviembre de 2019

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL**



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

Por:

Franklin Geovany Solís López
Yolanda del Carmen Huevo Lemus
Jenny Carolina Méndez Pérez

Requisito para optar al título de:

Ingeniero(a) Agrónomo

Ciudad Universitaria, noviembre de 2019

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Lic. M. Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

Ing. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

DR. FRANCISCO LARA ASCENCIO

SECRETARIO:

Ing. BALMORE MARTINEZ SIERRA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL

Ing. Agr. Edgard Marroquín Mena

DOCENTES DIRECTORES

Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia

Lic. M. Sc. Norbis Salvador Solano Melara

COORDINADORA GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACION

Ingra. Agr. Ana Juana Elizabeth Valdés de Sánchez

Resumen

La investigación se realizó de octubre de 2018 a abril de 2019, en el vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, y en el laboratorio de química agrícola. La investigación consistió en evaluar 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.

Durante el estudio se utilizaron plantas de café, a las cuales se les aplicó diferentes dosis de Poliacrilato de Potasio, para conocer el periodo de retención de humedad en el suelo, utilizando como indicador el registro de días a marchitez de las plantas y su desarrollo.

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 del suelo usado como sustrato; análisis químico de las raíces, del follaje y del Poliacrilato de Potasio.

El estudio se realizó bajo el diseño de bloques al azar, se tuvieron cuatro bloques. El número de unidades experimentales por tratamiento fue de 4 plantas, teniendo un total de 64 plantas. Para el análisis de los datos se utilizó estadística descriptiva (gráficos y tablas) y la prueba de Tukey y se hizo uso del programa InfoStats.

Se realizó el registro de días sin riego a las plantas de café obteniendo la mejor media el tratamiento tres con un promedio de 126.25 días, al realizar la prueba estadística de Tukey se obtuvo que los tratamientos en los cuales se utilizó el poliacrilato de potasio, el tratamiento tres, dos y uno (10 g, 7 g, y 5 g respectivamente), 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 tres presentó, los mejores resultados, presentado una ganancia de altura media de 23.5 cm y un volumen 14 cc. En ambas variables el tratamiento que obtuvo los menores resultados fue el tratamiento testigo, con una ganancia de altura promedio de 13.92 cm y un volumen de 8 cc. Los resultados de análisis de laboratorio no presentaron resultados significativos entre los tratamientos ($P > 0.05$).

Palabras claves: Poliacrilato de Potasio, café, *Coffea arabica*, agua, sequía, marchitez, hidrogel.

Abstract

The investigation was conducted from October 2018 to April 2019, in the plant nursery of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador, and in the agricultural chemistry laboratory. The investigation consisted of evaluating four doses of Potassium Polyacrylate in the development of coffee cultivation (*Coffea arabica* L.) and in the conservation of soil moisture available to plants.

During the study coffee plants were used, to which different doses of potassium polyacrylate were applied, to know the period of moisture retention in the soil, using as an indicator the registration of days to wilting of plants and their development.

Data were taken as plant height, number and length of sides, volume and length of the main root, days to wilt of the plant, analysis of the soil used as a substrate; chemical analysis of roots, foliage and potassium polyacrylate.

The study was conducted under the randomized block design, there were four blocks. The number of experimental units per treatment was 4 plants, with a total of 64 plants.

For the analysis of the data, descriptive statistics (graphs and tables) and the Tukey test were used. And the InfoStat program was used. S

The registration of days without irrigation to coffee plants was obtained, obtaining the best average treatment three with an average of 126.25 days, when performing the statistical test of tukey, it was obtained that the treatments in which potassium polyacrylate was used, treatment three, two and one (10g, 7g, y 5g respectively), presented the best results ($p > 0.05$). A significant effect was found in the variables plant height and root volume ($p > 0.05$), in which the three treatment presented, the best results, presented an average height gain of 23.5 cm and a volume of 14 cc. And in both variables the treatment that obtained the lowest results was the control treatment, with an average height gain of 13.92 cm and a volume of 8 cc. The results of laboratory analysis did not show significant results between treatments ($P > 0.05$).

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

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, por la oportunidad de formarnos académicamente en las diferentes áreas de la carrera.

Al Banco de Desarrollo de El Salvador (BANDESAL), por el apoyo económico para poder llevar acabo esta investigación.

A la empresa NUTRIFER, por la donación del Poliacrilato de Potasio, elemento clave de la investigación.

A nuestros Profesores y Asesores por la paciencia y por trasmitirnos su conocimiento.

Al Ingeniero Mario Alfredo Pérez Ascencio, por prestarnos el invernadero donde se estableció la fase de campo de la investigación.

Al Licenciado Mario Melgar, por apoyarnos en la realización de los análisis de laboratorio.

Dedicatoria

A Dios, que es por quien estoy donde estoy, el que ha guiado cada uno de mis pasos hasta hoy.

A mis padres, Rafael Huevo y Cecilia Lemus, por quienes he luchado para terminar mi carrera, los que me han dado ánimos de seguir.

A mis abuelos maternos Carmen Lemus y José Valdez y a mis abuelos paternos Yolanda Jovel y Antonio Huevo, que siempre han estado al pendiente de mí y de mis estudios.

A mis hermanas Cecilia y Cristabel, que han sido de ánimo para culminar mi carrera.

A mis tíos Manuel Valdez, Mary Valdez, José Lemus, Carlos Valdez, Eliezar Huevo y Omar Huevo, por su ayuda moral y económica, pero en especial a vos tío Saúl Lemus, por no dejarme sola cuando salía tarde de estudiar y me ibas a traer.

A Misael González, gracias por todo tu apoyo a lo largo de mi vida, de mi carrera, has sido de gran apoyo y sabes que te amo.

A mis amigas Gaby Ayala, por siempre ayudarme, Mary Cruz, por estar siempre para tus amigas, Nancy Salmerón, por ser la más comprensiva; Lidia Sánchez, Julia Medina; Andrea Vaquerano, Lilian Martínez y Wendy Tejada por todo su cariño y los lindos momentos que solo con ustedes he vivido, también a vos Marielos Hernández, mi niña gracias por tu apoyo y cuidarme como tu hermanita menor.

A mis sobrinos Nicoll Rivas y Elías Rivas, por animar mis días con sus locuras.

A mis Asesores Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia y al Lic. M. Sc. Norbis Salvador Solano, por su paciencia y permitirnos aprender de su experiencia.

Al personal docente y a todos los catedráticos que aportaron en mi formación durante la carrera, y a los trabajadores de la facultad por su apoyo.

A mis compañeros de Tesis Jenny Méndez y Franklin Solís, por aguantarme y por acompañarme en esta etapa tan importante de mi vida.

Al Banco de Desarrollo de El Salvador (BANDESAL), por la ayuda económica de esta investigación.

Yolanda del Carmen Huevo Lemus

Dedicatoria

A Dios, por permitirme llegar hasta donde he llegado y sé que seguiré guiando mi camino.

A mi tía Carolina Fuentes y a mi madre Sandra Elizabeth Pérez, por darme el estudio, sin ellas no sería nada en esta vida.

A mi padre Alexander Aguilar, por haberme criado y haberme formado, y llegar a ser esta mujer de bien que soy hoy.

A mis amigos Jorge Escobar y Daniel Hernández, por comprender muchas veces mi ausencia en eventos sociales, los quiero mucho.

A mi hermana Karla Chávez, por apoyarme en todo momento de mi vida.

A mis compañeros de tesis Yolanda Huevo y Franklin Solís, por aguantarme todo este tiempo y ser parte de este gran proyecto en mi formación.

A todos los educadores de mi vida y carrera por tener la paciencia.

A mis asesores Ing. M. Sc. Efraín Rodríguez Urrutia y Lic. M. Sc. Norbis Salvador Solano, por brindarnos todo su apoyo y conocimiento a lo largo de la investigación.

Al Banco de Desarrollo de El Salvador (BANDESAL), por financiar esta investigación.

Jenny Carolina Méndez Pérez

Dedicatoria

A Dios, por darme la vida, permitirme culminar esta etapa de mi vida y por bendecirme con la oportunidad de estudiar esta carrera tan linda.

A mis padres Javier Solís y Meylin López, por darme su apoyo incondicional, tanto emocional y económico y por mi formación como persona.

A mi familia, por darme todo su apoyo y por siempre estar al pendiente de mis avances en el área académica.

A mis amigos, por ser mis animadores en los momentos difíciles y por el apoyo emocional por parte de ellos.

A mis Profesores, tanto en básica como en bachillerato por tener la dedicación de enseñarme lo mejor posible.

A mis Profesores de la Universidad de El Salvador, por enseñarme las herramientas básicas de la carrera, por ser consejeros y amigos.

A mis Asesores de Tesis Ing. M. Sc. Efraín Rodríguez Urrutia y al Lic. M. Sc. Norbis Salvador Solano, por brindarnos la guía para la elaboración de esta investigación, por su paciencia y por permitirnos aprender de ellos.

A mis compañeros de Tesis Yolanda Huevo y Jenny Méndez, por tenerme mucha paciencia y por acompañarme en este proceso.

Franklin Geovany Solís López

Índice de Contenido

	Página
Agradecimientos.....	vi
Índice de Contenido.....	xi
1. Introducción.....	1
2. Marco Teórico.....	3
2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	3
2.2 Desarrollo Rural.....	3
2.3 Desarrollo Local.....	3
2.4 Recursos Naturales.....	4
2.5 Recursos Hídricos.....	4
2.6 Usos del Agua.....	4
2.6.1 Usos del agua en agricultura.....	5
2.7 Cambio climático.....	5
2.8 Sequías.....	6
2.9 Relación Planta-Agua.....	7
2.9.1 Capacidad de Campo.....	7
2.9.2 Punto de Marchitez Permanente.....	7
2.9.3 Agua fácilmente utilizable por las plantas.....	7
2.10 Alternativas de riego.....	7
2.11 Poliacrilato de potasio.....	8
2.11.1 Beneficios del Poliacrilato de Potasio.....	10
2.12 Cultivo de café.....	10
2.12.1 Clasificación Taxonómica del café.....	11

2.12.2	Morfología del cafeto	11
2.12.2.1	Sistema radicular.....	11
2.12.2.2	Tallo	12
2.12.2.3	Hojas	12
2.12.3	Condiciones agroecológicas del café.....	12
2.12.3.1	Altitud	13
2.12.3.2	Temperatura.....	13
2.12.3.3	Humedad Relativa	13
2.12.3.4	Luminosidad	13
2.12.3.5	Viento	13
2.12.3.6	Suelo	14
2.12.3.7	Precipitación pluvial.....	14
2.12.4	Características del café variedad Cuscatleco	14
2.12.4.1	Adaptabilidad.....	14
2.12.4.2	Productividad.....	15
2.12.5	Fertilización del café	15
2.12.6	Muestreo de suelos y foliar en café	15
2.12.6.1	Toma de muestras.....	16
2.12.6.2	Pasos para el muestreo de suelos.....	16
2.12.6.3	Pasos para el muestreo foliar	16
2.13	Investigaciones con polímeros.....	17
3.	Metodología.....	18
3.1	Ubicación de la investigación.....	18
3.2	Metodología de campo	18
3.2.1	Pruebas de hidratación del poliacrilato de potasio	19
3.2.2	Establecimiento de la investigación	19
3.2.3	Fertilización y riego.....	22

3.2.4	Toma de datos en campo	23
3.3	Análisis de laboratorio	26
3.3.1	Análisis de suelo.....	26
3.3.2	Análisis Foliar	26
3.3.3	Análisis del Poliacrilato de Potasio	26
3.4	Metodologías de laboratorio	26
3.4.1	Análisis de suelo y de la planta.....	26
3.4.1.1	Preparación de muestras de plantas de café para análisis químico.....	27
3.4.1.2	Determinación de humedad total en suelo.....	29
3.4.1.3	Determinación de la materia orgánica en el suelo	29
3.4.1.4	Determinación del Nitrógeno en el suelo y en la planta	30
3.4.1.5	Determinación de Potasio en el suelo, en la planta y en poliacrilato de potasio	31
3.4.1.6	Determinación de Fósforo en planta y suelo.....	32
3.4.1.7	Determinación de Calcio más Magnesio en suelo y planta	33
3.4.1.8	Determinación de Calcio.....	34
3.4.1.9	Determinación de pH.....	34
3.4.1.10	Determinación de Aluminio.....	35
3.5	Metodología Estadística.....	35
3.6	Metodología Económica	35
4.	Resultados y Discusión.....	36
4.1	Evaluar cuatro dosis de Poliacrilato de Potasio para conservar la humedad en el suelo disponible para las plantas de café	36
4.1.1	Días a marchitez de las plantas.....	36
4.1.2	Otros resultados obtenidos	38
4.2	Análisis de cuatro dosis de Poliacrilato de Potasio y sus efectos en el desarrollo de las plantas de café.....	39
4.2.1	Altura de las plantas	39

4.2.2	Diámetro del tallo de las plantas	42
4.2.3	Longitud de raíz.....	43
4.2.4	Volumen de raíz	45
4.2.5	Número de bandolas por planta.....	46
4.2.6	Largo de bandolas.....	48
4.3	Análisis químicos.....	49
4.3.1	Contenido de potasio en el Poliacrilato de potasio.....	49
4.3.2	Análisis del suelo.....	49
4.3.2.1	Contenido de nitrógeno en el suelo	49
4.3.2.2	Contenido de Fósforo en el suelo.....	51
4.3.2.3	Contenido de potasio en el suelo.....	52
4.3.2.4	Contenido de Calcio en el suelo	53
4.3.2.5	Contenido de Magnesio en el suelo.....	54
4.3.2.6	Contenido de materia orgánica en el suelo.....	55
4.3.2.7	pH del suelo	56
4.3.2.8	Acidez intercambiable en el suelo.....	57
4.3.3	Análisis foliar	58
4.3.3.1	Contenido de Nitrógeno en el follaje de las plantas	58
4.3.3.2	Contenido de Fósforo en el follaje de las plantas.....	59
4.3.3.3	Contenido de potasio en el follaje de las plantas	61
4.3.3.4	Contenido de Calcio en el follaje de las plantas.....	62
4.3.3.5	Contenido de Magnesio en el follaje de las plantas	64
4.4	Determinación del costo de la aplicación del Poliacrilato de Potasio en el cultivo del café	66
4.4.1	Análisis económico.....	66
5.	Conclusiones.....	67
6.	Recomendaciones.....	68

7. Bibliografía.....	69
8. Anexos	73

Índice de Figuras

	Página
Figura 1. Poliacrilato de potasio seco e hidratado.....	9
Figura 2. Absorción de agua retenida en poliacrilato de potasio por la planta.....	10
Figura 3. Sistema radicular de una planta de café.	12
Figura 4. Distribución de los tratamientos en la parcela del ensayo.....	18
Figura 5. Pruebas de hidratación del poliacrilato de potasio.	19
Figura 6. Recolección de la tierra y ahoyado de las macetas.....	20
Figura 7. Hidratación del poliacrilato de potasio.....	20
Figura 8. Trasplante y aplicación de poliacrilato de potasio.	21
Figura 9. Ordenado de plantas de café por tratamiento.	22
Figura 10. Fertilización y riego de las plantas de café.....	23
Figura 11. Medición de la altura de las plantas.	23
Figura 12. Medición de las bandolas de café.	24
Figura 13. Medición del diámetro del tallo de la planta.....	24
Figura 14. Medición de la raíz principal del café.	25
Figura 15. Determinación del volumen de las raíces.....	25
Figura 16. Determinación de la humedad parcial en plantas de café.	27
Figura 17. Molido de las plantas de café.....	28
Figura 18. Filtrado de lavados de ceniza.....	28
Figura 19. Tamizado y preparación de muestra en porta muestra de cerámica.	29
Figura 20 distribución de plantas con riego mensual y sin riego.....	36
Figura 21. Promedio de días a marchitez de las plantas de café.	37
Figura 22. Gránulos de Poliacrilato de potasio hidratados adheridos a las raíces.....	38
Figura 23. Plantas de café con floración.	39
Figura 24. Hojas de café con deficiencia de Boro (en forma de corazón).....	39
Figura 25. Altura promedio de las plantas de café.	40
Figura 26. Crecimiento de las plantas de café por semana.....	41
Figura 27. Diámetro promedio del tallo de las plantas.....	42
Figura 28. Incremento del diámetro promedio de los tallos de las plantas de café.....	43
Figura 29. Longitud de la raíz principal promedio en las plantas de café.	44

Figura 30. Promedio del volumen de raíz de las plantas de café.	45
Figura 31. Número de bandolas por planta de café.	47
Figura 32. Largo de bandolas de las plantas de café.	48
Figura 33. Crecimiento del largo de bandolas por semana.	49
Figura 34. Contenido de Nitrógeno en el suelo.	50
Figura 35. Contenido de fósforo en el suelo.	51
Figura 36. Contenido de potasio en el suelo.	52
Figura 37. Contenido de calcio en el suelo.	54
Figura 38. Contenido de magnesio en el suelo.	54
Figura 39. Contenido de materia orgánica en el suelo.	55
Figura 40. Valor de pH en el suelo.	56
Figura 41. Contenido de acidez intercambiable en el suelo.	58
Figura 42. Contenido de nitrógeno en el follaje de las plantas.	59
Figura 43. Contenido de fósforo en el follaje de las plantas.	60
Figura 44. Contenido de potasio en el follaje de las plantas.	62
Figura 45. Contenido de calcio en el follaje de las plantas.	63
Figura 46. Contenido de magnesio en el follaje de las plantas.	65

Índice de Cuadros

	Página
Cuadro 1. Promedio de días a marchitez de plantas.....	37
Cuadro 2. Análisis de varianza para días a marchitez de plantas.	37
Cuadro 3. Prueba de Tukey para la variable días a marchitez.	38
Cuadro 4. Altura promedio de las plantas de café.....	40
Cuadro 5. Análisis de varianza para altura de plantas.	41
Cuadro 6. Prueba de Tukey para altura de las plantas.	41
Cuadro 7. Diámetro promedio del tallo de las plantas de café por tratamiento.....	42
Cuadro 8. Análisis de varianza para el diámetro de los tallos de las plantas.....	43
Cuadro 9. Medias de la longitud de raíz por tratamiento.	44
Cuadro 10. Análisis de varianza para la longitud de la raíz principal.....	44
Cuadro 11. Promedio del volumen de raíz de las plantas de café.....	45
Cuadro 12. Análisis de varianza para volumen de raíces de las plantas de café.	46
Cuadro 13. Prueba de Tukey para volumen de raíces de las plantas de café.....	46
Cuadro 14. Número de bandolas por planta.	47
Cuadro 15. Análisis de varianza para número de bandolas por planta de café.	47
Cuadro 16. Promedio del largo de bandolas de las plantas de café.....	48
Cuadro 17. Análisis de varianza para el largo de bandolas.....	49
Cuadro 18. Contenido de nitrógeno en el suelo.	50
Cuadro 19. Contenido de fósforo en el suelo.	51
Cuadro 20. Contenido de potasio en el suelo.....	52
Cuadro 21. Contenido de calcio en el suelo.....	53
Cuadro 22. Contenido de magnesio en el suelo.....	54
Cuadro 23. Contenido de materia orgánica en el suelo.....	55
Cuadro 24. Valor de pH en el suelo.	56
Cuadro 25. Contenido de acidez intercambiable en el suelo.....	57
Cuadro 26. Contenido de nitrógeno en el follaje de las plantas de café.	58
Cuadro 27. Contenido promedio de fósforo en el follaje de las plantas.....	59
Cuadro 28. Análisis de varianza para el contenido de fósforo en el follaje.....	60
Cuadro 29. Prueba de Tukey para fósforo en el follaje de las plantas.....	60

Cuadro 30. Contenido promedio de potasio en el follaje de las plantas.	61
Cuadro 31. Análisis de varianza para el contenido de potasio en el follaje.	62
Cuadro 32. Contenido de calcio en el follaje de las plantas.	62
Cuadro 33. Análisis de varianza para calcio en el follaje de las plantas.	63
Cuadro 34. Prueba de Tukey para calcio en el follaje de las plantas.	64
Cuadro 35. Contenido de magnesio en el follaje de las plantas.	64
Cuadro 36. Análisis de varianza de magnesio en el follaje de las plantas.	65
Cuadro 37. Prueba de Tukey para contenido de magnesio en el follaje de las plantas.	66
Cuadro 38. Costos por manzana de aplicación del Poliacrilato de potasio en café.	67

Índice de Anexo

	Páginas
Anexo A- 1. Mapa de ubicación geográfica de la investigación.....	73
Anexo A- 2. Resultados del análisis de suelo inicial de la investigación.....	75
Anexo A- 3. Resultados del análisis de suelo inicial sobre la acidez intercambiable.	76
Anexo A- 4. Análisis del fertilizante formulado 15-15-15.	76
Anexo A- 5. Resultados del análisis de suelo final sobre la acidez intercambiable.	77
Anexo A- 6. Resultados del análisis de suelo final de la investigación.	78
Anexo A- 7. Interpretación de análisis de suelo de PROCAFE.	79
Anexo A- 8. Cálculos para convertir a porcentaje, parámetros de interpretación de análisis de suelo para potasio, fósforo, calcio y magnesio.....	79
Anexo a- 9. Interpretación de análisis de suelo en porcentaje	80
Anexo a- 10. Niveles de interpretación de nutrientes en las hojas.	81
Anexo A- 11. Disponibilidad de los nutrientes según el pH del suelo.	81

1. 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 productividad del 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 agricultura salvadoreña es uno de los sectores que más utiliza agua, si a ello le sumamos la actividad agroindustrial, el porcentaje es extremadamente alto. El agro utiliza unas 860 mil hectáreas de tierra para las diversas actividades agropecuarias, de las cuales 44 mil hectáreas se cultivan bajo riego, esto representa un porcentaje bajo de las tierras, alcanzando el 5.3% de las tierras cultivadas (Magaña 2006).

El Salvador se caracteriza por presentar dos épocas bien definidas, la seca de noviembre a abril y la lluviosa de mayo a octubre. Durante la época de lluvias suele ocurrir disminución o interrupción de la precipitación pluvial, fenómeno conocido como sequía y localmente como “Canículas”, las cuales provocan déficit hídrico, impactando a los cultivos presentes, reduciendo sus rendimientos y en consecuencia acompañada con problemas sociales y económicos (Sequia s. f.).

Las sequías generan fuertes impactos en la producción agrícola y en la seguridad alimentaria de la población salvadoreña. Solo en 2014, las pérdidas en la agricultura, producto de la lluvia deficitaria, ascendieron a más de USD\$ 70 millones, en el 2015 se calcula que hubo pérdidas arriba de USD\$ 75 millones (MARN 2016).

El café (*Coffea arabica* L) es uno de los cultivos más importantes de El Salvador por las divisas que generan las exportaciones y la generación de empleos, por ejemplo, en el 2016 se generaron 39,237 empleos y en el 2017 fueron 41,750 (CSC 2017).

La producción de café depende mucho de la cantidad de lluvia anual. El efecto ocasionado por las sequías que se originan en la época lluviosa ha llevado a la reducción de la lluvia

anual y por tanto a la reducción de la producción, teniendo en el año 2015, 42,052,727 kg (925,160 qq) y en 2016, 35,670,000 kg (784,740 qq) (CSC 2017).

El café es un patrimonio natural de El Salvador, el cual constituye uno de los rubros agrícolas más importantes por el papel que juega en la economía nacional, la sociedad y el medio ambiente (PROCAFE 2010).

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, de esta forma 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.

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.

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 ni en otros cultivos que se producen en el país, para evaluar el comportamiento de este producto en el desarrollo de las plantas de café y en la conservación de la humedad en el suelo disponible para las plantas, y así conocer la cantidad adecuada de producto a aplicar.

2. Marco Teórico

2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible

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 M. 2015).

Con esta investigación se busca contribuir al cumplimiento de los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible:

- Objetivo 6. Agua limpia y saneamiento.
- Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

2.2 Desarrollo Rural

El desarrollo rural persigue la mejora de las condiciones de vida de la población rural de manera equitativa y sostenible, tanto desde el punto de vista social como del medioambiente, gracias a un mejor acceso a los bienes (naturales, físicos, humanos, tecnológicos y al capital social) y servicios; y al control del capital productivo (en sus formas financiera o económica), que hacen posible mejorar su calidad de vida.

El desarrollo rural comprende la agricultura, educación, infraestructura, salud, fortalecimiento de las capacidades en función del empleo no agrícola, las instituciones rurales y las necesidades de los grupos vulnerables (FAO/UNESCO 2004).

2.3 Desarrollo Local

Según Alburquerque F. (1997), Director de Desarrollo y Gestión Local del Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), el desarrollo local se basa en la identificación y aprovechamiento de los recursos y potencialidades endógenos a nivel local.

En El Salvador, el tema de desarrollo local se ubica en los primeros años de la década de los noventa del siglo pasado, donde la firma de los Acuerdos de Paz dio paso a nuevas formas de concepción y ejecución de los programas y proyectos orientados a apoyar a la población, tomando mayor importancia en las agendas de los partidos políticos, ya que generaba a las

municipalidades la posibilidad de trabajar de la mano con la población, a través de sus organizaciones comunales para la mejora de sus condiciones de vida (Alvarado y Rivas 2004).

2.4 Recursos Naturales

Son aquellos elementos proporcionados por la naturaleza, sin intervención de las personas, para satisfacer sus necesidades, estos recursos pueden ser renovables y no renovables. Los recursos naturales renovables son aquellos cuya existencia no se agota por la utilización de los mismos y los recursos naturales no renovables son los que existen en cantidades fijas o bien los que cuya tasa de regeneración es menor a la tasa de explotación, a medida que estos recursos son utilizados, se van agotando hasta acabarse (Anzil F. 2010).

Los recursos naturales como la tierra, el agua y el material genético, son esenciales para la producción de alimentos, el desarrollo rural y los medios de subsistencia sostenibles. Uno de los desafíos mundiales es la capacidad de producir más alimentos con menos agua, incrementar la eficacia en el uso y la productividad del agua, y garantizar el acceso equitativo a los recursos hídricos (FAO 2007).

2.5 Recursos Hídricos

Son los cuerpos de agua que existen en el planeta, desde los océanos hasta los ríos, pasando por los lagos, los arroyos y las lagunas. Estos recursos deben preservarse y utilizarse de forma racional, los cuales son indispensables para la existencia de la vida, ya que una de las grandes dificultades que enfrenta la humanidad es la falta del agua dulce. Las estimaciones llevadas a cabo establecen que el 100% del agua total se distribuye de la siguiente manera: 97.47% de agua salina y 2.53% de agua dulce, la cual: el 1.76% se encuentra en glaciares y capas polares, 0.76% de agua subterránea y 0.01% de lagos, ríos y atmosfera (Pérez y Merino 2016).

2.6 Usos del Agua

El agua es un recurso escaso, su uso eficiente y responsable en la agricultura es imprescindible para asegurar el buen estado de ríos, acuíferos y humedales, más aún cuando en el futuro se prevé una menor disponibilidad de recursos hídricos, una distribución irregular en el tiempo por efectos del cambio climático, y un aumento de la demanda de agua por parte de otros sectores (Badillo et al. 2009).

El agua se utiliza principalmente para consumo humano, en actividades domésticas como en limpieza de viviendas, de ropa, la higiene y el aseo personal, limpieza de calles, ornamentación, riego de parques y jardines, en procesos de fabricación de productos, en talleres, en construcción, para producción de energía eléctrica, en agricultura para riego de los campos, en ganadería como parte de la alimentación de los animales, en la limpieza de los establos y de otras instalaciones dedicadas a la cría de ganado (Ávila A. 2003).

2.6.1 Usos del agua en agricultura

Los cultivos necesarios para la dieta media de la población en el mundo conllevan el consumo de más de 5 m³/día de agua: 60% por los cultivos de secano y 40% por los de regadío. En la última década se ha modernizado un tercio de los regadíos, con el objetivo principal de ahorrar agua. Existen dudas sobre la eficiencia de las políticas en la disminución de la presión sobre los recursos hídricos, puesto que en muchas zonas han aumentado las superficies dedicadas al regadío. La agricultura actual es muy consumidora de fertilizantes y pesticidas, cuyos lixiviados son causantes de una parte muy importante de la contaminación difusa, una de las principales causas de deterioro de los ecosistemas hídricos (Corominas 2014).

2.7 Cambio climático

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.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático –CMNUCC- (1992), lo define como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante periodos de tiempo comparables.

Ambas definiciones coinciden en que las condiciones climáticas están variando, con lo cual el mundo en forma global está presenciando cambios, se plantea que el aumento de las temperaturas medias del aire y océano incrementó los deshielos, aumentó el nivel del mar, modificando el patrón de las precipitaciones (heterogeneidad espacial y temporal) y de fenómenos climáticos extremos como sequías, inundaciones, olas de calor y frío, los cuales son consecuencias directas del cambio climático (FAO 2016).

2.8 Sequías

Es una condición de tiempo anormalmente seco en una región durante un período suficientemente extendido como para provocar un grave desequilibrio hidrológico, donde la disponibilidad del agua es casi nula debido a la falta de precipitaciones pluviales y a una alteración transitoria del régimen hídrico de las cuencas. En estas condiciones el agua no es suficiente para cubrir las necesidades de consumo humano, las actividades agropecuarias y el medio ambiente.

El Salvador ha enfrentado cuatro años consecutivos con sequías meteorológicas (2012-2015) y, durante el año 2015, el trimestre de mayo a julio ha sido el más seco en casi medio siglo del registro a escala nacional. Esto podría estar relacionado a fenómenos que ya producen impactos de importantes consecuencias, que pueden deberse al calentamiento global asociado al cambio climático (MARN 2016).

El Salvador se caracteriza por presentar dos épocas bien definidas, la seca de noviembre a abril y la lluviosa de mayo a octubre. Durante la época de las lluvias suele ocurrir disminución o interrupción de la precipitación pluvial, fenómeno conocido como sequía y localmente como “Canículas”, las cuales provocan déficit hídrico, impactando a los cultivos presentes, reduciendo sus rendimientos y en consecuencia acompañada con problemas sociales y económicos (Sequia s. f.).

La zona más afectada se localiza en el Oriente del país, siendo severa tanto en términos de cantidad de lluvia como en la duración y en la pérdida de agua en el suelo por evapotranspiración. Las irregularidades y mala distribución de la lluvia de mayo a julio han provocado retraso en las siembras de granos básicos de “Primera” y cultivos de grandes extensiones como el café en los países de la región. Existen reportes de daños parciales e incluso pérdidas totales de granos básicos (USAID 2015).

Las sequías generan fuertes impactos en la producción agrícola y en la seguridad alimentaria de la población. Solo en 2014 las pérdidas en agricultura producto de la lluvia deficitaria ascendieron a más de USD\$ 70 millones, en el 2015 se calcula que hubo pérdidas arriba de USD\$ 75 millones. Eventos extremos secos y las altas temperaturas generan impactos severos en la salud, en el sector agropecuario y el medio ambiente, especialmente en un país al borde de alcanzar estrés hídrico (MARN 2016).

2.9 Relación Planta-Agua

El suelo es el depósito de almacenamiento de agua, aire y nutrientes desde donde la planta los extraen por medio de las raíces. Cualquier consideración sobre la absorción de agua, requiere del conocimiento de las propiedades del suelo, especialmente aquellas que afectan la libre disponibilidad de agua para la planta (INTA s. f.).

2.9.1 Capacidad de Campo

Es el volumen de agua que un suelo puede retener después de saturarlo (encharcarlo) y dejarlo drenar (escurrir) libremente durante 48 horas. La Capacidad de Campo viene a reflejar el agua que el suelo almacena en los poros y canales pequeños, después de que los más grandes se hayan llenado de aire. Cuando un suelo está a Capacidad de Campo la presión necesaria para comenzar a extraer el agua retenida es baja, de menos de 0,3 atmósferas (Badillo et al 2009).

2.9.2 Punto de Marchitez Permanente

Es el contenido de agua de un suelo a partir del cual las plantas no pueden extraer más y, por tanto, se marchitan y mueren. En este punto la presión necesaria para comenzar a extraer el agua que todavía contiene el suelo es de 15 atmósferas. De forma general, el Punto de Marchitez es igual al 56% de la Capacidad de Campo (Badillo et al. 2009).

El agua útil para las plantas es la diferencia entre Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente.

2.9.3 Agua fácilmente utilizable por las plantas

El agua fácilmente utilizable por las plantas es la parte del agua útil que las plantas pueden absorber con poco esfuerzo (0,5 - 1 atmósferas) y por tanto sin merma de su capacidad productiva. El agua fácilmente utilizable depende de cada especie de planta, pero se considera, de forma orientativa, que para los cultivos menos sensibles a la sequía el agua fácilmente utilizable es el 50% del agua útil y para los más sensibles entre 25-30% (Badillo et al. 2009).

2.10 Alternativas de riego

Ante la disminución de la rentabilidad de la producción agropecuaria se hace necesario optimizar la eficiencia de uso de los recursos tecnológicos disponibles para lograr una

productividad elevada y estable en el tiempo, en un marco de sustentabilidad. La agricultura de riego en comparación con la de secano permite multiplicar notablemente el rendimiento de los cultivos y asegurar las cosechas al desligarlas de la influencia de las lluvias. De ahí la importancia de los sistemas y alternativas de riego (INTA s. f.).

Entre algunas de las alternativas están:

- 1) Riego por gravedad o inundación. Necesita que el agua llegue a la parcela con energía gravitatoria y utiliza la superficie del terreno para su distribución. Es recomendable que se realice en suelos uniformes, profundos y bien nivelados. Permite, en el caso de aguas o suelos salinos, lavados más enérgicos que otros sistemas.
- 2) Riego por aspersión. Es un sistema mecanizado que permite la aplicación del agua en el suelo en forma de aspersión, o sea, fraccionando el caudal en gotas, asegurando un manejo eficiente de la lámina de riego. Tiene la ventaja, sobre el riego por gravedad, de que se puede aplicar eficientemente en suelos con alto coeficiente de infiltración, suelos poco profundos o suelos con topografía muy accidentada
- 3) Riego localizado (por goteo). Es una técnica de aplicación del agua en el suelo mediante caudales reducidos, sobre un área restringida del volumen radicular de los cultivos, con una alta frecuencia de aplicación, que permite mantener el suelo en condiciones cercanas a la Capacidad de Campo. También puede practicarse la fertirrigación en cantidades y momentos oportunos. La alta frecuencia favorece la absorción de agua por el doble efecto de mantener elevadas las condiciones de humedad y a su vez hace que bajen las concentraciones salinas (INTA s. f.).

2.11 Poliacrilato de potasio

El agua es uno de los recursos más indispensables en el planeta, siendo literalmente la fuente de vida para plantas, animales y para el ser humano. Por ello, se han invertido recursos en investigaciones para fabricar dispositivos hídricos ahorradores, convirtiendo el manejo adecuado de este recurso en una tarea de vital importancia en esta época. En toda la historia de la humanidad se ha tenido la necesidad de almacenar la lluvia y siempre se ha hecho en forma líquida, pero en el 2003, el Ing. Sergio Rico Velasco desarrolló un sistema que permite modificar la presentación líquida del agua lluvia a sólida y su aplicación en jardinería, agricultura, ganadería, sistemas forestales, entre otros. La tecnología ofrece la posibilidad de almacenar la lluvia en costales y en forma sólida (Rico 2006).

Consiste en 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 (figura 1) (Nolasco 2013).

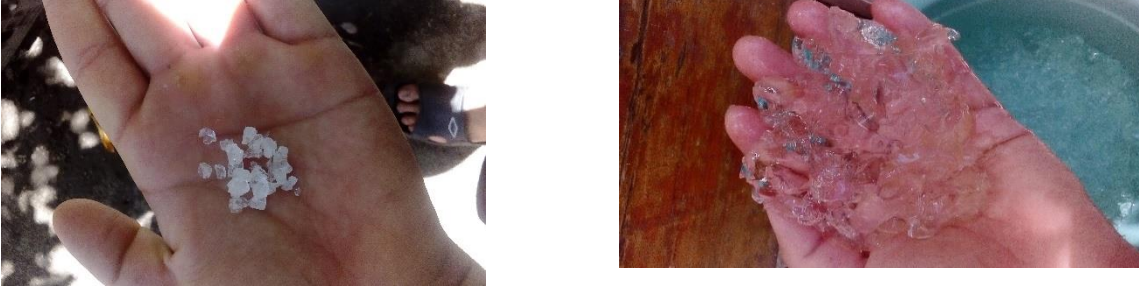


Figura 1. Poliacrilato de potasio seco e hidratado.

Los Polímeros biodegradables que absorben y retienen grandes cantidades de agua y nutrientes cuando son introducidos en el suelo o en cualquier otro medio de cultivo, permiten el desarrollo de las plantaciones aún en épocas secas, aprovechando al máximo los escasos recursos de agua y nutrientes disponibles. 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).

El Acrilato de Potasio es un polímero que por su estructura molecular atrae magnéticamente las moléculas del agua que al entrar en contacto con el medio acuoso su estructura reticular se disocian exponiendo cargas iguales negativas lo que permite una repulsión de las cadenas poliméricas, esto permite el paso de las moléculas de agua al interior del polímero. Las fuerzas intermoleculares de cohesión impiden la desintegración del compuesto. El agua es atrapada entonces en el interior del polímero y solo es entregada a las raíces de la planta a través de un proceso físico de ósmosis. Con esto el polímero logra captar hasta 500 veces su peso en agua de lluvia, teniendo como resultados importantes beneficios como la reducción de los costos de producción hasta en un 90% en los sistemas de riego, fertilizantes, energía eléctrica, mano de obra, entre otros, incrementando significativamente la productividad (Nolasco 2013)

2.11.1 Beneficios del Poliacrilato de Potasio

El Poliacrilato de Potasio reduce el estrés hídrico de la planta hasta por 28 días, es un producto reversible que se carga de nuevo cada vez que el suelo recibe agua, reduce hasta en un 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 y no es tóxico. El producto se puede aplicar tanto hidratado como seco, utilizando la dosis de siete gramos por litro de agua por planta. Este se aplica al momento del trasplante alrededor del sistema radicular (NutriFértil s. f.).

El Poliacrilato de Potasio se utiliza para aumentar la capacidad de retención de agua del suelo y para espaciar las frecuencias de riego. El polímero no tiene efecto sobre las propiedades físicas del agua ni en la porosidad total del suelo, pero si en la retención de agua, disminuyendo la capacidad de aireación. Absorben agua durante el riego y la lluvia, y la liberan a medida que el suelo se seca alrededor del polímero, obteniendo así una reserva hídrica, aprovechar al máximo el agua disponible y evitar estrés hídrico en las plantas (figura 2) (Gonzales A. 2014).



Figura 2. Absorción de agua retenida en poliacrilato de potasio por la planta

2.12 Cultivo de café

Tiene su origen en las regiones montañosas de Etiopía, fue introducido a Centro América entre los años 1779 y 1796. En 1857 se inició con la distribución del cultivo por todo el

territorio, principalmente en las zonas altas de El Salvador. En la actualidad se estima que el parque cafetalero ronda las 160,944.4 hectáreas (229,921 manzanas) (PROCAFE 2010).

2.12.1 Clasificación Taxonómica del café

La clasificación taxonómica del cultivo del café es la siguiente:

- Reino: Vegetal
- División: Espermatophitas
- Subdivisión: Angiosperma
- Clase: Dicotiledóneas
- Subclase: Simpétalas
- Orden: Gentianales
- Familia: Rubiaceae
- Tribu: Cofeales
- Subtribu: Cofeineas
- Género: *Coffea*
- Sección: Eucoffea
- Subsección: Eritrocoffea
- Especie: *arabica, canephora, liberica, eugenoides* (total 104 especies).
- Variedad (Cultivar): Bourbon, Pacas, Cuscatleco, otras (PROCAFE 2010).

2.12.2 Morfología del cafeto

2.12.2.1 Sistema radicular

El café tiene cuatro tipos de raíz:

- Raíz principal, es pivotante, de 50 a 60 cm de profundidad.
- Raíces secundarias, axiales o de sostén.
- Raíces terciarias o laterales, que se extienden horizontalmente.
- Raicillas o comelonas, que sirven a la planta para la absorción de agua y nutrientes. Se encuentran en un 80% a 30 cm de profundidad del suelo y cubren un diámetro de 1.50 m aproximadamente, a partir del tronco (figura 3) (PROCAFE 2010).

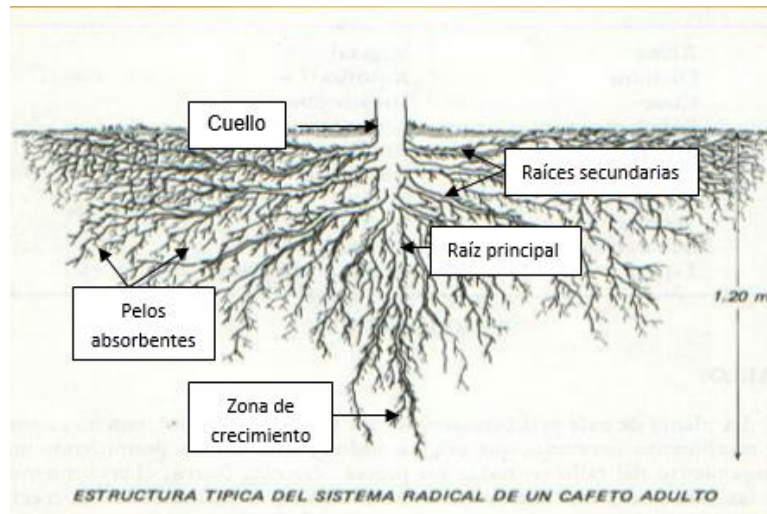


Figura 3. Sistema radicular de una planta de café.

2.12.2.2 Tallo

El café es un arbusto que posee un tallo central en cuyo extremo superior se encuentra la yema terminal responsable del crecimiento terminal formando nudos y entrenudos, que se conoce como crecimiento ortotrópico. Del ápice de la planta se forman nudos, hojas y ramas laterales que son las que dan el crecimiento plagiotrópico. Ambos tipos de crecimiento conforman la arquitectura cónica del café o sistema vegetativo (PROCAFE 2010).

2.12.2.3 Hojas

Emergen en la parte terminal del tallo y en las ramas o bandolas laterales, crecen en disposición opuesta y son de forma elíptica. La función principal de las hojas es realizar los procesos de transpiración, fotosíntesis y respiración. Son las responsables de transformar los nutrientes que luego son trasladados a otros órganos como raíces, tallo y el fruto (PROCAFE 2010).

2.12.3 Condiciones agroecológicas del café

El cultivo de café se adapta a diferentes condiciones agroecológicas. No obstante, para alcanzar su óptimo desarrollo es importante considerar los siguientes elementos: altitud, temperatura, humedad relativa, luminosidad, viento, suelo y precipitación pluvial (lluvia) (PROCAFE 2010).

2.12.3.1 Altitud

En términos generales, en El Salvador el cafeto muestra de buenos a excelentes atributos en altitudes que van desde 500 a 1,600 metros sobre el nivel del mar (msnm). Plantaciones cultivadas a menos de 500 msnm o a mayor altura del rango mencionado, son consideradas marginales, debido a que son afectadas negativamente en su fisiología (PROCAFE et al. 2011).

2.12.3.2 Temperatura

La temperatura anual óptima para el cafeto oscila entre 20 a 28 grados centígrados (° C), temperaturas fuera de este rango afectan el normal desarrollo del cafeto (PROCAFE et al. 2011).

2.12.3.3 Humedad Relativa

En los cafetales bajo sombra la humedad relativa es mayor que la de aquellos que se encuentran expuestos al sol. Los cafetos a pleno sol necesitan absorber continuamente agua y mayor cantidad de nutrientes para sus funciones metabólicas normales, que los que están bajo sombra. En general, el cafeto requiere una humedad relativa media que oscile entre 65% a 85% (PROCAFE et al. 2011).

2.12.3.4 Luminosidad

Considerando que el cafeto tiene su origen en lugares sombreados, es recomendado cultivarlo bajo luminosidad regulada, que permita formar un microclima adecuado dependiendo de la altitud sobre el nivel del mar. La iluminación deficiente o excesiva afecta el funcionamiento normal de la planta (PROCAFE et al. 2011).

2.12.3.5 Viento

La ventilación normal dentro de un cafetal es necesaria para la formación de un microclima adecuado al cafeto y desfavorable para plagas. Los vientos suaves o moderados con velocidades de 5 a 15 kilómetros por hora no afectan el comportamiento normal de los cafetos. Los fuertes vientos causan daños mecánicos en hojas, ramas y tallos, caída de flores y frutos; asimismo, disminuyen la humedad relativa media y ocasionan la pérdida de agua en el suelo, provocando estrés a los cafetales. Estos efectos son nocivos en plantaciones establecidas en suelos arenosos y arcillosos (PROCAFE et al. 2011).

2.12.3.6 Suelo

Las condiciones físicas del suelo como la profundidad efectiva, textura, estructura, topografía y pedregosidad, así como las condiciones químicas, tales como el contenido de materia orgánica, de nutrientes y la acidez, inciden en la adaptabilidad del cafeto; y logra mejores desarrollos en suelos de textura Franca (F); sin embargo, se adapta a suelos Franco Arcillosos (FC) y Franco Arenosos (FA), con una profundidad efectiva mínima de 50 cm y un horizonte orgánico de 20 cm (PROCAFE et al. 2011).

2.12.3.7 Precipitación pluvial

La lluvia es un factor climático que influye en los cafetos en dos formas: la cantidad de precipitación mensual y anual, y su distribución en el tiempo. Generalmente el cafeto prospera en regiones con precipitaciones anuales de 1,200 mm a 2,000 mm, con una distribución que permita una época lluviosa y otra seca. Un suelo con exceso de agua es tan limitante para el crecimiento del cafeto como aquel que se encuentra con niveles bajos de humedad, pudiendo causar defoliación y caída del fruto (PROCAFE 2010).

2.12.4 Características del café variedad Cuscatleco

La variedad Cuscatleco es de mucha importancia para la mejora del parque cafetalero de El Salvador, por las características que presenta. posee un sistema radicular fuerte y profundo con resistencia a nematodos, estructura compacta bien desarrollada de forma cónica, con entrenudos cortos (forman un ángulo de 50 a 55 grados) en el eje principal, porte intermedio (2.4 metros de altura), bandolas largas (más de 80 cm de largo) con entrenudos largos (4.52 cm), y el diámetro de grosor del tallo hasta los 40 cm de altura del cafeto es de 4.3 a 4.5 cm. El follaje es denso con hojas grandes y corrugadas (largo 19.2 cm y ancho 9.25 cm) de color verde intenso, brotes de color verde claro, con alto vigor híbrido, precocidad y resistencia a la Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*), sin embargo, es ligeramente susceptible a las enfermedades Cercospora (*Cercospora coffeicola*) y Ojo de Gallo (*Mycena citricolor*) La maduración del fruto es intermedia y uniforme, es de color rojo, resistente a la caída por el efecto de la lluvia y su tamaño es grande y de forma alargada (1.71 cm. de largo y 1.28 de ancho). El porcentaje de grano vano es menos de 6% (PROCAFE 2007).

2.12.4.1 Adaptabilidad

Responde perfectamente en la zona cafetalera de El Salvador desde los 600 hasta 1,200 metros sobre el nivel del mar (msnm), bajo sombra regulada, de acuerdo a la altitud donde

se cultiva, y con fertilización adecuada. En estas condiciones los cafetos tienen un mejor vigor híbrido después de cada cosecha, lo que permite inferir en una mejor preparación y por ende en una buena cosecha. Es de producción precoz y la maduración del fruto está en función a la altitud donde se cultiva (30 semanas en promedio a partir de la floración) (PROCAFE 2007)

2.12.4.2 Productividad

Los resultados promedios de producción obtenidos de cuatro cosechas consecutivas en condiciones de 950 msnm, oscilaron entre 45 a 50 quintales de café oro por manzana, superando considerablemente a las variedades comerciales: Pacas, Catisic y Catuaí Rojo (PROCAFE 2007)

2.12.5 Fertilización del café

El cultivo de café demanda generalmente mayores cantidades de nutrientes de los que existen en el suelo en forma asimilable, por lo tanto, deben ser aportados por medio de fertilizantes químicos, orgánicos y cales. Los elementos suministrados por el suelo se clasifican en macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre; micronutrientes y materia orgánica (PROCAFE 2010).

Para plantías de primer año, el programa de fertilización se realiza de la siguiente manera: al suelo se realizan tres aplicaciones, la primera en el mes de mayo a junio aplicando fórmula completa en dosis de 2 onzas por planta; la segunda fertilización se realiza un mes después, de julio a agosto, se aplica fórmula completa en dosis de 2 onzas por planta; y un mes después, de septiembre a octubre se realiza la tercera fertilización, aplicando sulfato de amonio en dosis de 2 onzas por planta o urea en dosis de 1.5 onzas por planta. En el mes de junio se realiza la aplicación de fertilizante foliar a base de quelatos en dosis de 500 centímetros cúbicos por barril de agua (PROCAFE 2010).

2.12.6 Muestreo de suelos y foliar en café

La toma de muestras de suelo es una práctica muy valiosa que se efectúa en los terrenos para conocer el estado de fertilidad y diagnosticar el potencial productivo del cultivo. Con ello, todo productor está asegurándose de conocer las características físico-químicas del suelo y de invertir lo necesario a la hora de establecer un cultivo o de fertilizarlo, si es que ya está establecido. Asimismo, el muestreo foliar indica al caficultor cómo las plantas están

asimilando los elementos presentes en el suelo, ya que a través del análisis foliar se refleja el estado nutricional actual de la planta (CENTA 2013).

2.12.6.1 Toma de muestras

Para la toma de muestras tanto de suelo como foliares se deben considerar ciertos criterios:

- Dividir la finca en lotes o tablones no mayores a 5 mz, dependiendo de la topografía y características físicas del suelo.
- En cada tablón hacer un recorrido en forma de zig-zag y ubicar de 10 a 15 puntos para la toma de submuestras.
- Considerar la edad del cultivo y la variedad.
- Verificar que no hayan abonado o aplicado enmendador.
- Asegurarse que no hayan aplicado fuentes foliares 30 días previo al muestreo (CENTA 2013).

2.12.6.2 Pasos para el muestreo de suelos

Identificar el árbol a muestrear con pintura de aceite color rojo o amarillo. La muestra se tomará en la banda de abonamiento, a una profundidad de 0 – 20 cm (CENTA 2013).

2.12.6.3 Pasos para el muestreo foliar

El muestreo foliar se efectuará en el mismo árbol donde tomó la muestra de suelo, elegir bandolas de la parte media del árbol y que sean productivas. Seleccionar el tercer par de hojas (de afuera hacia adentro de la bandola); tomando como primer par de hojas aquellas que presentan un tamaño mayor de 5 cm de longitud. Recolectar 4 hojas sanas por cafeto (dos hojas por cada bandola ubicada en sentido opuesto del árbol). Muestreando 15 cafetos se obtiene un total de 60 hojas como mínimo por cada lote o tablón. Las hojas recolectadas se depositarán en una bolsa de polietileno limpia, procurando que queden ordenadas para evitar daños mecánicos y quemaduras de sol. Asegurarse que no hayan aplicado agroquímicos foliares (CENTA 2013).

Para ambos muestreos cada bolsa se identificará con una etiqueta, la cual se amarra en la parte superior o se coloca dentro de la bolsa, identificando: nombre de la finca, propietario, lote o tablón, tercer par de hojas muestreadas y fecha de muestreo. Las muestras deben llevarse de inmediato al laboratorio, si esto no es posible se guardan en la parte baja del refrigerador o en un lugar fresco libre de contaminantes (CENTA 2013).

2.13 Investigaciones con polímeros

Zapeta C. (2012) en estudios con rambután (*Nephelium lappaceum* L.) demostró que los tratamientos que mejor respondieron a altura de la planta fueron aquellos donde se utilizaron 3 g/planta de hidrorretenedor, con una frecuencia de riego cada 7 días, obteniendo una altura media de 60.5 cm. Además, la dosis de 3 g/planta de hidrorretenedor a una frecuencia de riego cada 14 días obtuvo 54.5 cm de altura, mientras que la dosis de 2 g/planta a una frecuencia de 21 días obtuvo una altura de 54 cm, mientras que donde se utilizaron 2 g/planta y una frecuencia de riego de 14 días se obtuvo plantas con altura media de 51.5 cm.

Barillas et al. (2016) realizaron un estudio sobre el crecimiento de las plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), el cual presentó diferencia significativa sobre la interacción entre las formas de aplicación y las dosis de hidrogel utilizadas, a raíz de esto se obtuvo que el "B2" (tratamiento 6) es el que presentó el mejor resultado con una media de 109 cm, seguido por "A2" (tratamiento 3) el cual presentó una media de 104.6 cm. Se presentaron 4 grupos estadísticos para las medias de los tratamientos, los resultados demuestran que el Poliácido de Potasio aumentó la altura de las plantas de frijol cuando mayor es la cantidad de poliácido que se aplica, esto pudo deberse a la cantidad de humedad que este generó durante el ciclo del cultivo debido a las lluvias.

Barón et al. (2006) evaluaron cultivos de *Acacia* sp. y rábano (*Raphanus sativus* L.) en fase de vivero en suelos acondicionados con diferentes hidrogeles (Poliácidos), en el primer cultivo evaluaron el retraso en la marchitez de la especie y en el segundo la diferencia en crecimiento. Los resultados demostraron la bondad del uso de hidrogeles en estas aplicaciones: mayor facilidad de liberación y retención de agua aprovechable por el suelo, retraso notable del marchitamiento en condiciones hostiles, y mayor crecimiento de las especies, retrasando hasta en un 400% la marchitez en las especies forestales y en sequías prolongadas la cantidad de plantas marchitas desciende hasta un 250%.

Patricio (2014) citado por Gonzales (2014), estudio el efecto de tres dosis de poliácido de potasio en la sobrevivencia de *Pinus arizonica*, para lo cual se evaluó la mortalidad y el crecimiento de las plantas (diámetro y altura). Los resultados obtenidos demostraron que donde se aplicó más polímero hubo más sobrevivencia de la especie, y en el testigo fue menos.

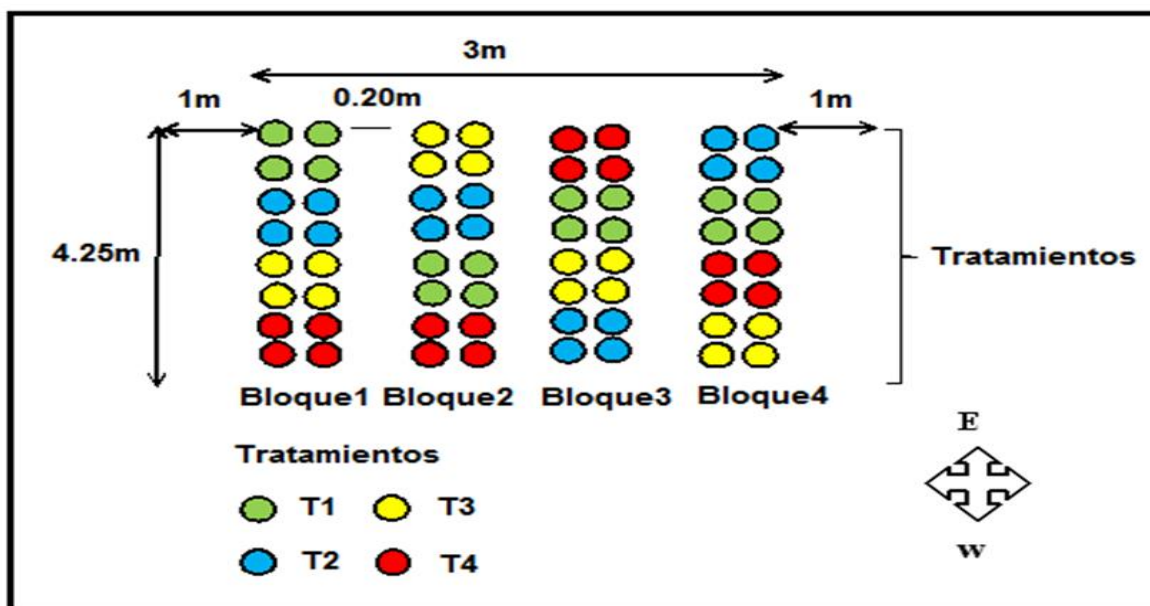
3. Metodología

3.1 Ubicación de la investigación

La investigación se llevó a cabo en el periodo de octubre de 2018 a abril de 2019, en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, el cual está ubicado en la Ciudad Universitaria, en San Salvador, El Salvador, a una 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 (anexo A-1).

3.2 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 de la variedad Cuscatleco, 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 (T4) 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 hacer la siembra de las



plantas de café en las macetas plásticas (figura 4).

Figura 4. Distribución de los tratamientos en la parcela del ensayo.

3.2.1 Pruebas de hidratación del poliacrilato de potasio

Se realizaron dos pruebas de hidratación del poliacrilato de potasio, con el propósito de conocer la forma más efectiva en que el producto puede funcionar y que sea más fácil de aplicar. La primera prueba se hizo hidratándolo en una cubeta, en la cual se aplicó 5 g de poliacrilato de potasio y un litro de agua; la segunda prueba se hizo enterrando 5 g de poliacrilato de potasio en el suelo y aplicando un litro de agua. Según los resultados de las pruebas, se llegó a la decisión de hidratar el producto en cubetas previo al trasplante (figura 5).

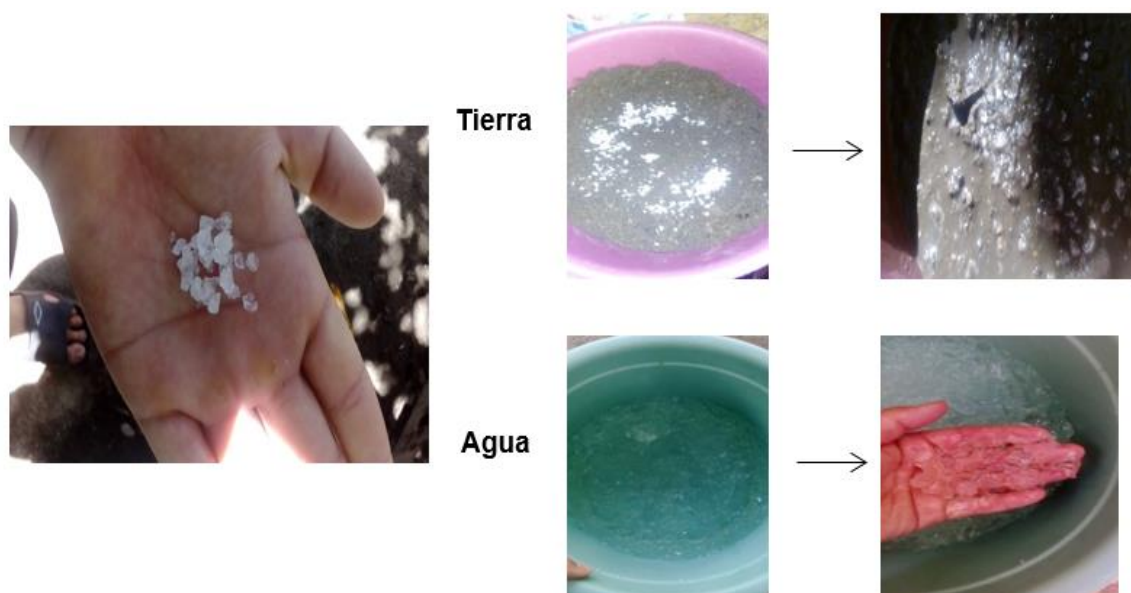


Figura 5. Pruebas de hidratación del poliacrilato de potasio.

3.2.2 Establecimiento de la investigación

Previo al establecimiento de la investigación se realizó el traslado de los recipientes plásticos (macetas) de 5 galones, las plantas de café y el sustrato utilizado en la investigación. Después se procedió a la preparación de los recipientes, a los cuales con ayuda de un taladro se les realizaron pequeños agujeros en la base de este, para evitar la acumulación de agua al momento del riego y así facilitar el drenaje del exceso de agua (figura 6).



Figura 6. Recolección de la tierra y ahoyado de las macetas.

Antes del trasplante de las plantas se realizó la hidratación del poliacrilato de potasio por un periodo de cinco horas, hidratándolo por cada tratamiento utilizado, colocando la dosis respectiva en un litro de agua (figura 7).



Figura 7. Hidratación del poliacrilato de potasio.

La investigación se estableció en un invernadero bajo condiciones controladas (temperatura, humedad relativa y sombra), para ello se utilizaron plantas de café de la variedad Cuscatleco listas para trasplantar, como sustrato se utilizó tierra con 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, el cual se aplicó alrededor del pilón de la planta de café, para luego completar el llenado de los recipientes con tierra hasta el borde superior (figura 8)



Figura 8. Trasplante y aplicación de poliacrilato de potasio.

Después de realizar el trasplante de todas las plantas de café, se realizó 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 tuvo 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 (figura 9).

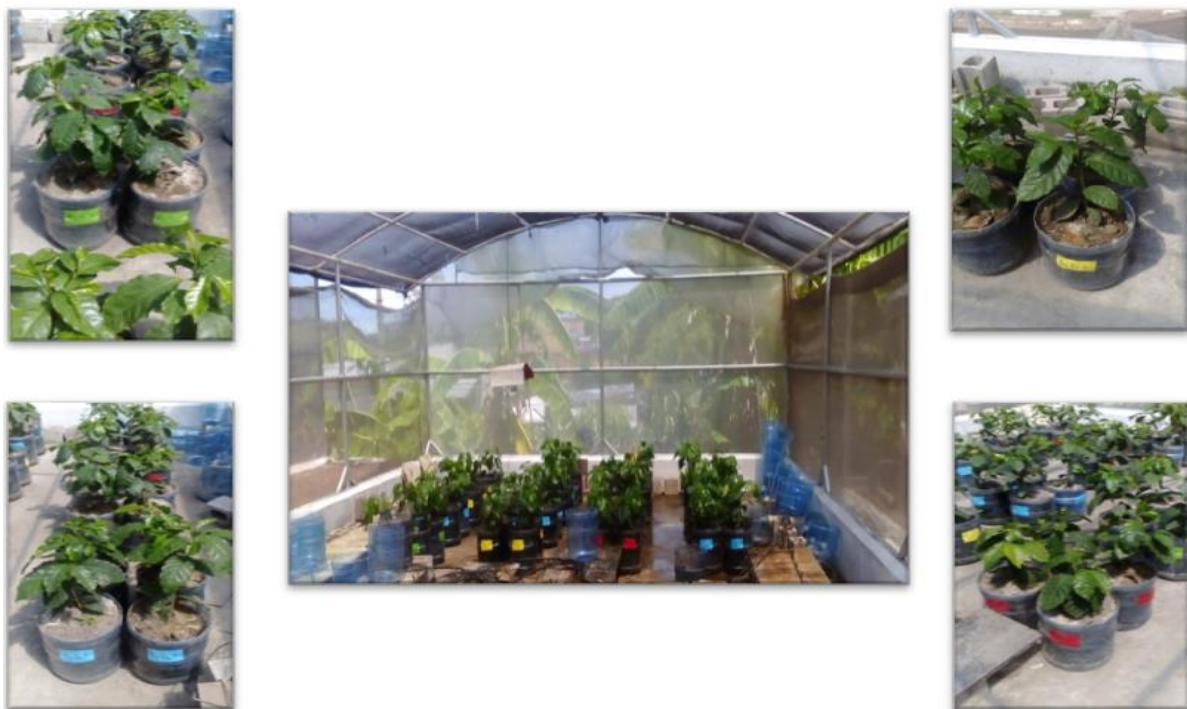


Figura 9. Ordenado de plantas de café por tratamiento.

3.2.3 Fertilización y riego

Durante la investigación 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 (que es cuando también se colocó el Poliacrilato de potasio previamente hidratado) para humedecer el suelo hasta saturación y se regaron todas 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. (Figura 10).



Figura 10. Fertilización y riego de las plantas de café.

3.2.4 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 quince días durante seis meses.

Los datos que se tomaron durante la realización de la investigación fueron los siguientes:

- 1) La altura de la planta se tomó desde el nivel del suelo hasta la parte apical (figura 11).



Figura 11. Medición de la altura de las plantas.

- 2) El largo de las bandolas se tomó en el segundo par de bandolas (segunda cruz), de abajo hacia arriba (figura 12).



Figura 12. Medición de las bandolas de café.

- 3) Se contaron el número de bandolas que forman las plantas.
4) El diámetro del tallo se midió mediante la lectura de un Pie de Rey digital (figura 13).



Figura 13. Medición del diámetro del tallo de la planta.

- 5) La longitud de la raíz principal o pivotante se tomó 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 (figura 14).

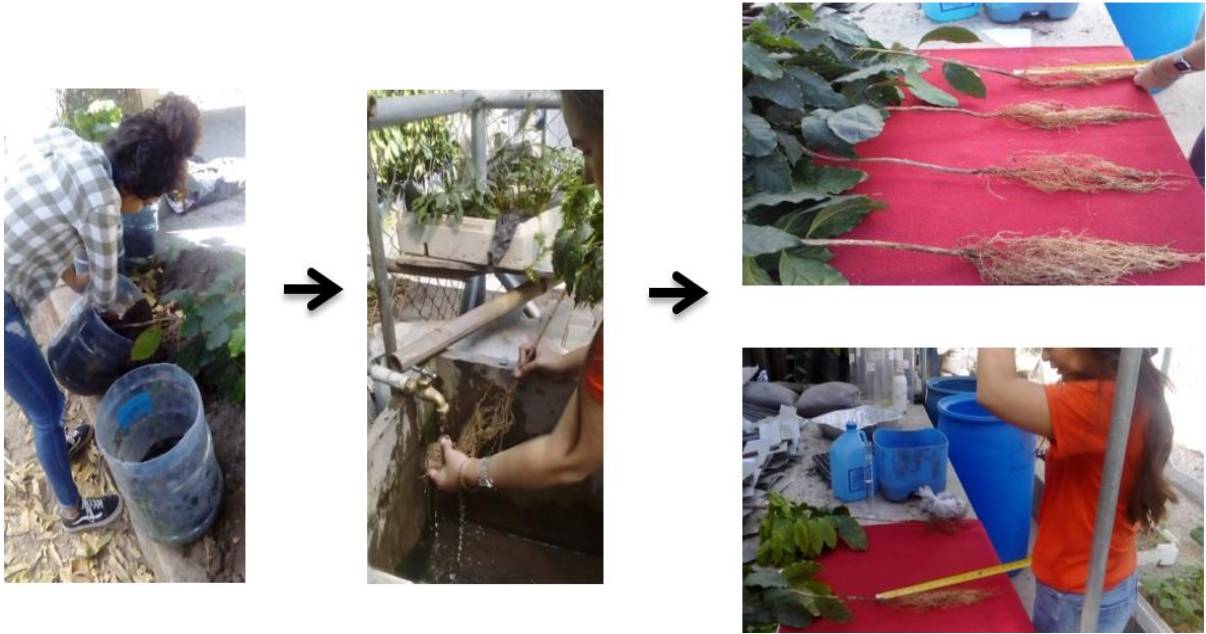


Figura 14. Medición de la raíz principal del café.

- 6) Para determinar el volumen de las raíces, se sumergieron 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 indico el volumen de la raíz (figura 15).

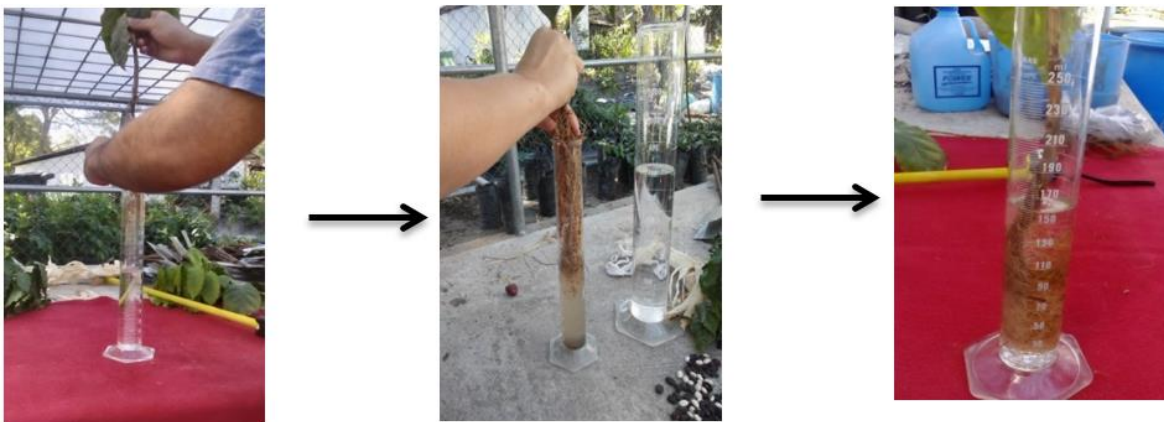


Figura 15. Determinación del volumen de las raíces.

Para conocer cuantos días pueden vivir las plantas de café sin riego, estas se regaron únicamente el día del trasplante, que es cuando también se aplicó el Poliacrilato de Potasio

hidratado. 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. A la otra mitad de las plantas de todos los tratamientos se les siguió aplicando un riego cada mes hasta la finalización de la investigación que duró 6 meses.

3.3 Análisis de laboratorio

3.3.1 Análisis de suelo

Se realizaron 5 análisis de suelo, uno al inicio de la investigación y cuatro al finalizar. El primer análisis se realizó en general para todo el suelo que fue utilizado en la investigación, los otros cuatro análisis se realizaron al final de la investigación, uno por cada tratamiento. Para la formación de la muestra se tomaron porciones de suelo de cada uno de los recipientes de cada tratamiento hasta completar 2 libras.

3.3.2 Análisis Foliar

Se realizaron 5 análisis foliares, uno al inicio de la investigación y 4 al finalizar. El primer análisis se realizó en general para todas las plantas de café que fueron utilizadas en la investigación, los otros cuatro 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.

3.3.3 Análisis del Poliacrilato de Potasio

El análisis del Poliacrilato de Potasio se realizó al inicio de la investigación, con el objetivo de conocer la concentración del potasio.

3.4 Metodologías de laboratorio

3.4.1 Análisis de suelo y de la planta

Las muestras de suelo 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 son: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, pH, Materia orgánica y Conductividad eléctrica; el Aluminio se analizó en el laboratorio del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). Los procedimientos de cada análisis se describen a continuación.

3.4.1.1 Preparación de muestras de plantas de café para análisis químico

Estos pasos se realizaron con el objetivo de preparar las muestras para los siguientes análisis: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio en planta

a) Humedad parcial en planta

- Se lavaron con agua destilada las hojas para eliminar el polvo que contenían, se secaron con papel toalla. Se cortó el tejido vegetal (tallo y hoja) en tamaños de 5- 6 cm hasta obtener un peso de 100 g, se homogenizó la muestra (figura 12).
- Las hojas y el resto de la planta se colocaron en bandejas, con el objetivo de dejar circular el aire durante el proceso de secado, se rotularon con los siguientes datos: identificación de muestra por tratamiento. Las bandejas fueron colocadas en una estufa de aire circulante durante 24 horas a una temperatura promedio de 70° C, previamente calentada. Se sacó la muestra, fue enfriada en desecador, (figura 16) (AOAC 1984).

Figura 16. Determinación de la humedad parcial en plantas de café.



b) Determinación de cenizas en la planta

- Luego de haber retirado la humedad de las plantas de café, se procedió al molido de estas, utilizando una licuadora, se molió lo suficiente hasta obtener 100 g de muestra para posteriormente realizar la determinación de ceniza (figura 17).



Figura 17. Molido de las plantas de café.

- Con pinzas se colocó en el horno de mufla un crisol limpio, vacío e identificado, se calentó a 550°C por una hora, se sacó el crisol del horno, se colocó en un desecador y se enfrió por 30 minutos, luego se pesó el crisol vacío.
- Se pesó aproximadamente 2 gramos de muestra directamente en el crisol, se colocó en el horno de mufla y se calentó a una temperatura de 550°C durante 2 horas, se retiró el crisol del horno de mufla, se colocó en un desecador durante 30 minutos y se pesó.
- Una vez obtenida la ceniza se le aplicó 5 ml de ácido clorhídrico y 10 ml de agua destilada, luego se colocó el crisol en una estufa hasta evaporación.
- Se realizaron tres lavados a cada muestra, para luego con ayuda de un embudo se filtró a través de papel filtro Whatman N° 1 dichos lavados, se recogió el filtrado en un balón volumétrico de 100 ml limpio (figura 18). Luego de haber realizados los tres lavados con sus respectivos filtrados se aforo el balón hasta la marca de 100 ml.
- El filtrado obtenido se utilizó para el análisis de potasio, fósforo, calcio y magnesio



Figura 18. Filtrado de lavados de ceniza.

3.4.1.2 Determinación de humedad total en suelo

Se calentó una caja de aluminio vacía en una estufa a 105° C durante dos horas y se enfrió en desecador por 30 minutos. Se pesaron dos gramos de la muestra de suelo previamente homogenizada, se colocó en la caja de aluminio destapada y se introdujo en la estufa de vacío durante cinco horas, previamente calentada a 105° C. Al finalizar el tiempo, se retiró la caja de la estufa, se tapó y se colocó en el desecador para enfriarlo durante 30 minutos (AOAC 1984).

Cálculos:

Peso de la muestra = peso de caja con muestra húmeda - peso de caja vacía

Pérdida de peso = peso de caja con muestra húmeda - peso de caja con muestra seca

% de humedad total = (pérdida de peso/peso de muestra) x 100

3.4.1.3 Determinación de la materia orgánica en el suelo

Se pesó de 0.1 a 0.5 gramos de suelo seco y fue tamizado a través de tamiz de 10 mm de diámetro y luego por tamiz de 0.5 mm, después se pesó 20 mg de la muestra en la porta muestra de cerámica (figura 19).



Figura 19. Tamizado y preparación de muestra en porta muestra de cerámica.

Luego se precalentó el horno del equipo a 1,200° C. Previo al análisis se procedió a calibrar el equipo TOC, se pesó en una porta muestra de cerámica 25 mg, 50 mg, 75 mg y 100 mg de carbonato de calcio al 98% de pureza, se realizó la lectura de cada una de las muestras, luego se ajustó los parámetros del equipo realizando una curva de calibración. Después se

realizó la lectura de cada una de las muestras de suelo, obteniendo el porcentaje de Carbono de cada muestra.

Se utilizó la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de materia orgánica

Cálculos:

$$\% \text{ Materia Orgánica} = \% \text{ C. Orgánico} \times 1.72$$

3.4.1.4 Determinación del Nitrógeno en el suelo y en la planta

a) Pesaje de muestras

Para el análisis de Kjeldahl se usó una balanza analítica con precisión de 0.1 mg para el pesado de las muestras, para luego ser transferidas al tubo de digestión. Se pesaron 0.5 g de muestra.

b) Digestión

Se colocó la muestra en un tubo Tecator para micro Kjeldahl de 250 ml, luego se le agregó 6 ml de ácido sulfúrico y 3 g de la mezcla del catalizador (sulfato de potasio y sulfato de cobre).

Se agitó durante cinco minutos ésta mezcla y se colocaron los seis tubos al mismo tiempo en el aparato de digestión Kjeldahl, se conectó el sistema de extracción de vapores y condensación de gases, moviendo constantemente (por medio de rotación) los tubos y se esperó hasta que la solución se tornara transparente de color azul o verde (AOAC 1984).

c) Destilación

Se dejaron enfriar los tubos, agregándoles 80 ml de agua destilada, esperando que enfriaran nuevamente. Se agregó 60 ml de solución de hidróxido de sodio al 40%. En un erlenmeyer de 250 ml se colocaron 25 ml de la solución de ácido bórico más indicadores y se pusieron en el aparato de destilación (solución de color rojo). Se recibió el destilado en el erlenmeyer de 250 ml, el cual estuvo en el aparato después de 5 minutos de trabajo. Se observó un cambio de color en la solución de rojo a verde.

d) Valoración

Se dejó enfriar y titular con solución de ácido clorhídrico 0.1 N hasta cambio de color del indicador que fue de verde a rojo.

Cálculos:

El porcentaje de nitrógeno total se calcula aplicando la siguiente fórmula (AOAC 1984):

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{\text{ml HCl muestra} - \text{ml HCl testigo} * N * 0.014 * 100}{\text{Peso de muestra (g)}}$$

3.4.1.5 Determinación de Potasio en el suelo, en la planta y en poliacrilato de potasio

Primero, se encendió el fotómetro y se dejó calentar durante 30 minutos, luego se procedió a preparar las muestras de suelo, planta y del poliacrilato de potasio.

a) Preparación para análisis en suelos

Se preparó una solución 0.5 M de acetato de amonio-ácido acético, tomando 38.55 g de acetato de amonio y se disolvió en 29 ml de ácido acético glacial, se diluyó en 1 litro de agua destilada. Se pesaron 10 gramos de suelo y fueron transferidos a un recipiente plástico juntamente con 50 ml de solución 0.5 M de acetato de amonio-ácido acético glacial. Luego se cerró el recipiente plástico y se agitó utilizando un agitador automático durante 30 minutos, posteriormente se dejó la solución en reposo durante diez minutos. Finalmente, la solución fue filtrada a través de un filtro de papel Whatman No. 30.

b) Preparación para análisis en plantas y en el Poliacrilato de potasio

- Este se realizó con las cenizas solubilizadas anteriormente. Se prepararon soluciones estándar de potasio para cubrir el rango de 0-100 ppm, se pipeteó 10 ml de estándar de Potasio de 1000 ppm en un frasco volumétrico de 100 ml y se aforó hasta la marca con solución de acetato de amonio-ácido acético. Esta es la solución estándar de 100 ppm.
- De esta solución se prepararon estándares de 80, 60, 40 y 30 ppm utilizando la solución de acetato de amonio-ácido acético como diluyente.

- Se aspiró el estándar de 100 ppm y se ajustó la concentración en el monitor a un valor de 100. Sin tocar los controles se aspiró los otros estándares y se confirmó que todos producían una respuesta lineal. Luego se determinó el contenido de potasio del extracto de suelo y de las cenizas de las plantas y del polímero previamente elaborado, aspirando la solución en el fotómetro de llama; como el valor que se obtuvo de poliacrilato de potasio fue mayor que el valor estándar más concentrado, se procedió a realizar diluciones que fueron: 1:25 y 1:250 (AOAC 1984).

Cálculos:

$$\text{Conc. K (mg/100 g de Mx)} = \frac{\text{valor en el monitor (ppm)} \times \text{volumen de solución extractora (ml)} \times 100}{\text{peso de la muestra (g)} \times 1,000}$$

3.4.1.6 Determinación de Fósforo en planta y suelo

a) Método de extracción de fósforo para suelo

- Se pesó en una balanza analítica 10 g de muestra de suelo que fue previamente secada al aire y tamizada.
- Luego se adicionó 0.2 g de Carbón activado y 50 ml de solución extractora Carolina del Norte, se agitó durante cinco minutos y se dejó reposar. Se filtró la solución a través de papel filtro.
- En la planta se utilizó el filtrado obtenido del lavado de las cenizas.

b) Preparación de la curva de calibración

- Se preparó una curva de calibración del equipo utilizando una solución patrón de 1,000 ppm de Fósforo.
- Se tomaron 5, 10 y 20 ml de la solución y fueron transferidos a balones volumétricos de 50 ml. La concentración teórica de los estándares fue de 100, 200 y 400 ppm de P, respectivamente.
- Se graficó los datos obtenidos de concentración contra absorbancia en una hoja de cálculo. Después de corroborar la linealidad del método se realizó la lectura de las muestras (AOAC 1984).

c) Preparación y lectura de las muestras

- Se pipeteó 5 ml del filtrado y fue transferido a un tubo de ensayo.
- Se añadió 2 ml de solución Molibdato-Vanadato, se agitó y reposó durante 30 minutos.
- Se llevó un blanco para ajustar el cero de absorbancia en el equipo, posteriormente se tomó la lectura en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 400 nm

Cálculos:

Para calcular la concentración de Fósforo en las muestras se utilizó la siguiente fórmula (AOAC 1984):

$$\text{Ley de Beer-Lambert: } C_{Mx} = \frac{A_{Mx} \cdot C_{St}}{A_{St}} \text{ FD}$$

Donde:

C_{Mx} es: Concentración de la muestra (ppm)

A_{Mx} : Absorbancia de la muestra

C_{St} : Concentración del estándar

A_{St} : Absorbancia del estándar

3.4.1.7 Determinación de Calcio más Magnesio en suelo y planta

a) Preparación del suelo y valoración de Calcio + Magnesio

- En una balanza semi-analítica se pesaron 20 gramos de suelo
- Se colocaron en un beaker de 250 ml, se agregó una pequeña porción de carbón Darco G60.
- Con una bureta se añadió 100 ml de solución extractora de cloruro de potasio, se agitó durante cinco minutos en el agitador electrónico
- Se filtró a través de papel filtro Whatman N° 1 y se recogió el filtrado en otro Erlenmeyer limpio.

Valoración de Calcio + Magnesio en suelo y planta

- Se midió con pipeta volumétrica 25 ml del filtrado, colocándolo en un Erlenmeyer, se agregó 2 ml de solución buffer de cloruro de amonio-hidróxido de amonio hasta que se obtuvo el pH deseado
- Se agregaron 3 gotas de indicador NET

- Se valoró con solución de EDTA hasta el cambio de color del indicador de púrpura a color azul (AOAC 1984).

Cálculo:

Meq Ca + Mg/100 g suelo = ((ml. EDTA x M. EDTA)/ml. Alícuota) x (100 ml de sol. Extracto/peso de muestra)

b) Preparación de la planta

Se utilizó el filtrado de ceniza realizado anteriormente.

3.4.1.8 Determinación de Calcio

- Se midió 25 ml del filtrado obtenido para la determinación de calcio más magnesio
- se agregó 3 ml de solución de hidróxido de sodio 1 M para obtener el pH apropiado, se agitó
- se añadió una pequeña porción de indicador murexida y fue valorado con solución de EDTA hasta que se observó el cambio de color del indicador de rosado a morado (AOAC 1984).

Cálculos para determinar calcio

Meq. Ca/100 g suelo = ((ml EDTA gastados x Molaridad x 100) ml/ml alícuota) x ((ml solución extractora) /peso muestra)

Cálculo para determinar magnesio

Meq Ca + Mg/100 g de suelo - Meq. Ca/100 g suelo = Meq. Mg/100 g suelo

3.4.1.9 Determinación de pH

- En un beaker de 100 ml se pesó en una balanza semianalítica 10 gramos de suelo secado al aire y tamizado a través de un tamiz N° 10.
- Con una probeta se agregó 50 ml de agua destilada.
- Se agitó por 10 minutos manualmente.

- Se introdujo el electrodo en la muestra, la lectura fue inmediatamente registrado en el medidor de pH.
- Luego se lavó el electrodo con agua destilada (AOAC 1984).

3.4.1.10 Determinación de Aluminio

- Este se determinó en el laboratorio del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA).

3.5 Metodología Estadística

Las variables en estudio fueron:

La variable independiente el uso del Poliacrilato de Potasio

La variable dependiente conservación de humedad en suelo.

El estudio se llevó a cabo bajo un Diseño de Bloques al Azar, para el análisis de los datos se utilizó estadística descriptiva (gráficos y tablas) y la Prueba de Tukey. Para analizar los datos se hizo uso del programa InfoStat con una probabilidad de 0.05. Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones, las cuales estuvieron en los distintos bloques. El número de unidades experimentales por tratamiento fue de cuatro plantas de café, teniendo un total de 64 plantas.

Se tomaron datos como: altura del tallo, número de bandolas, largo de bandolas, diámetro del tallo, longitud de la raíz principal, días a marchitez permanente, análisis de suelo, análisis químicos de la raíz y follaje, y análisis químico del Poliacrilato de Potasio.

Para el análisis químico en suelo no se utilizó análisis estadístico ya que solo se analizó una muestra por tratamiento, sin repeticiones.

3.6 Metodología Económica

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

4. Resultados y Discusión

Los objetivos de esta investigación son: evaluar cuatro dosis de Poliacrilato de Potasio para conservar la humedad en el suelo disponible para las plantas de café y para analizar sus efectos en el desarrollo de las plantas de café; además, conocer el costo de la aplicación del Poliacrilato de Potasio en el cultivo del café.

4.1 Evaluar cuatro dosis de Poliacrilato de Potasio para conservar la humedad en el suelo disponible para las plantas de café

4.1.1 Días a marchitez de las plantas

Para conocer cuantos días pueden vivir las plantas de café sin riego, estas se regaron únicamente el día del trasplante, que es cuando también se aplicó el Poliacrilato de Potasio hidratado. Después de ese riego no se le aplicó agua a la mitad de las plantas de todos los tratamientos como semuestra en la figura 20. y se tomó el dato el día que llegaron a marchites.

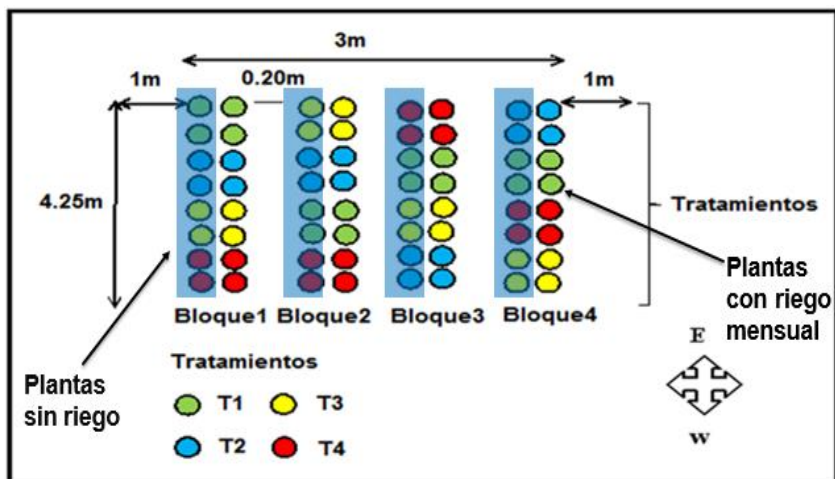


Figura 20 distribución de plantas con riego mensual y sin riego

La dosis de Poliacrilato de Potasio que conservó la humedad en el suelo disponible para las plantas de café por más tiempo fue la de 10 gramos (g) por planta (Tratamiento 3), con una duración promedio de 126.25 días, esto después de la aplicación de poliacrilato de potasio y el riego al inicio de la investigación. La segunda dosis que dio los mejores resultados fue la de 7 g por planta (Tratamiento 2), con una duración promedio de 122.50 días; seguido por la

dosis de 5 g por planta (Tratamiento 1), con una duración promedio de 120.50 días. El tratamiento que tuvo el menor promedio de días hasta la marchitez de las plantas fue el Testigo o Tratamiento 4 (cero gramos de Poliacrilato de potasio), con una duración promedio de 94.75 días (cuadro 1, figura 21)

Cuadro 1. Promedio de días a marchitez de plantas

Tratamiento	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	Días a marchites de las plantas
T1	5	120.50
T2	7	122.50
T3	10	126.25
T4	0	94.75

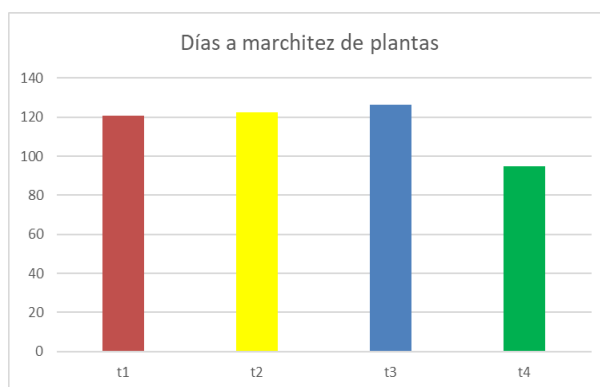


Figura 21. Promedio de días a marchitez de las plantas de café.

Cuadro 2. Análisis de varianza para días a marchitez de plantas.

F.V.	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			

Estadísticamente los tratamientos en estudio obtuvieron diferencias significativas sobre la variable días a marchitez de las plantas (Cuadro 2), con una probabilidad de 0.05, por lo tanto, se continuó con el análisis estadístico.

Cuadro 3. 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

Al realizar la prueba estadística de Tukey 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 4 (Testigo), en el cual no se utilizó el polímero, por lo tanto, el poliacrilato de potasio si influye en el periodo de días a marchitez de la planta.

En la figura 22 se observa como el Poliacrilato de potasio hidratado se adhiere fácilmente a las raíces de la planta de café.



Figura 22. Gránulos de Poliacrilato de potasio hidratados adheridos a las raíces.

4.1.2 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 y hojas deformes por presentar deficiencia de Boro (figura 23 y 24).

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, La maduración del fruto es intermedia (30 semanas en promedio a partir de la floración) (ANACAFE s.f.).



Figura 23. Plantas de café con floración.

Figura 24. Hojas de café con deficiencia de Boro (en forma de corazón).

4.2 Análisis de cuatro dosis de Poliacrilato de Potasio y sus efectos en el desarrollo de las plantas de café

4.2.1 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 la de 10 g por planta (Tratamiento 3), con un incremento de altura promedio de 21.56 cm; seguido por la dosis de 7 g por planta (Tratamiento 2), con un incremento de altura promedio de 20.56 cm; luego la dosis de 5 g por planta (Tratamiento 1), 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 Testigo o Tratamiento 4 (cero gramos de Poliacrilato de potasio), con un incremento de altura promedio de 13.91 cm (cuadro 4, figura 25).

Cuadro 4. Altura promedio de las plantas de café.

Tratamientos	Dosis de Poliacrilato de potasio (gr)	Altura inicial (cm)	Altura final (cm)	Incremento de altura (cm)
T1	5	27.63	47.75	20.12
T2	7	28.75	49.31	20.56
T3	10	25.63	47.19	21.56
T4	0	31.67	45.58	13.91

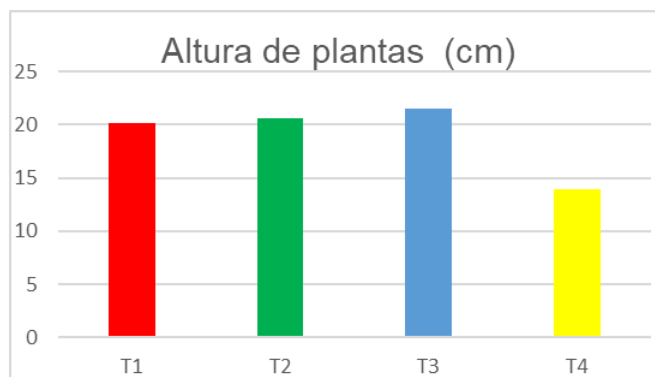


Figura 25. Altura promedio de las plantas de café.

En la figura 26 se muestra el incremento de altura por semana que tuvieron las plantas de café en cada Tratamiento, iniciando desde la primera toma de datos hasta la semana 20 (5 meses).

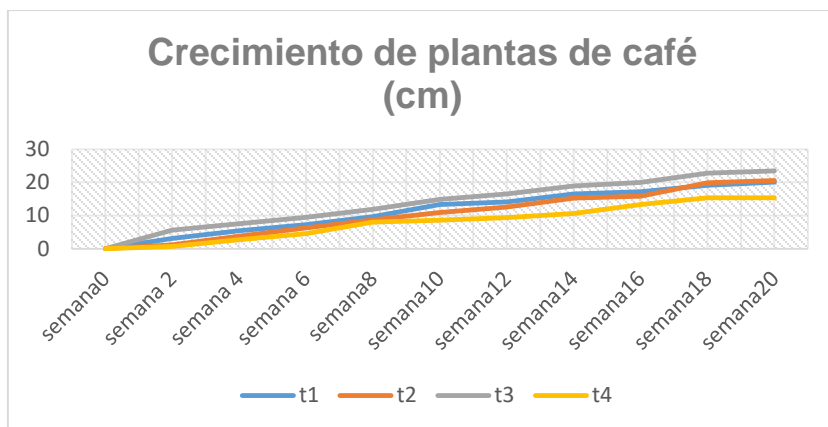


Figura 26. Crecimiento de las plantas de café por semana.

Cuadro 5. 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 el Análisis de varianza, 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 6. Prueba de Tukey para altura de las plantas.

Tratamientos	Mediasn	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

Al realizar la prueba de Tukey, 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 Poliácridato de potasio en diferentes dosis.

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

Barillas et al. (2016) menciona que los mejores resultados en la variable altura de las plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) los obtuvieron cuando utilizaron el poliacrilato de potasio.

4.2.2 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 la de 10 g por planta (Tratamiento 3), con un diámetro promedio de 7.27 mm; seguido por la dosis de 7 g por planta (Tratamiento 2), con un diámetro promedio de 7.09 mm; luego la dosis de 5 g por planta (Tratamiento 1), con un diámetro promedio de 7.05 mm. El tratamiento con el que se obtuvo el menor diámetro promedio de las plantas fue el Testigo o Tratamiento 4 (cero gramos de Poliacrilato de potasio), con un diámetro promedio de 7.01 mm (cuadro 7, figura 27).

Cuadro 7. Diámetro promedio del tallo de las plantas de café por tratamiento.

Tratamientos	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	Diámetro del tallo (mm)
T1	5	7.05
T2	7	7.09
T3	10	7.27
T4	0	7.01

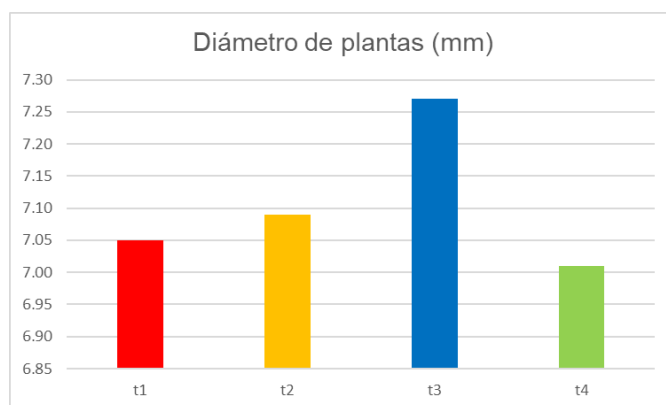


Figura 27. Diámetro promedio del tallo de las plantas.

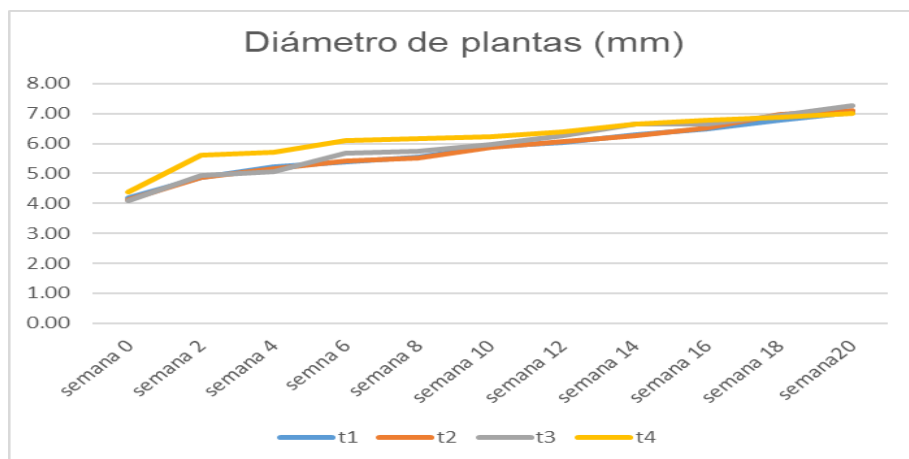


Figura 28. Incremento del diámetro promedio de los tallos de las plantas de café.

Cuadro 8. Análisis de varianza para el diámetro de los tallos de las plantas.

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
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		
<u>Total</u>	<u>3.55</u>	<u>14</u>			

Cuando se realizó el análisis de varianza, 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, por lo tanto no se realizó prueba de tukey.

Zapeta C. (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.

4.2.3 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 la de 5 g por planta (Tratamiento 1), con una longitud promedio de 38.50 cm; seguido por la dosis de 7 g por planta (Tratamiento 2), con una longitud promedio de 38.40 cm; luego la dosis de 10 g por planta (Tratamiento 3), con una longitud promedio de 33 cm. El tratamiento con el que se obtuvo una longitud menor de raíz de las plantas fue el Testigo o Tratamiento 4 (cero gramos de Poliacrilato de potasio), con una longitud promedio de 30.60 cm (cuadro 9, figura 29).

Cuadro 9. Medias de la longitud de raíz por tratamiento.

Tratamientos	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	de raíz (cm)
T1	5	38.5
T2	7	38.4
T3	10	33.0
T4	0	30.6

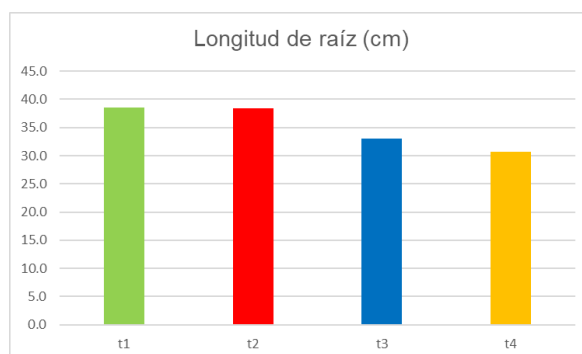


Figura 29. Longitud de la raíz principal promedio en las plantas de café.

Cuadro 10. 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			

Estadísticamente los tratamientos en estudio presentaron diferencias no significativas en la variable longitud de raíz, con una probabilidad de 0.05.

Zapeta C. (2015) evaluó polímeros en plantas de rambután (*Nephelium lappaceum* L.), y no obtuvo resultados significativos en la longitud de la raíz principal.

4.2.4 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 fueron la de 10 g por planta (Tratamiento 3) y la de 7 g por planta (Tratamiento 2), ambas con un volumen de raíz promedio de 14 cc; luego la dosis de 5 g por planta (Tratamiento 1), 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 Testigo o Tratamiento 4 (cero gramos de Poliacrilato de potasio), con un volumen de raíz promedio de 8 cc (cuadro 11, figura 30).

Cuadro 11. Promedio del volumen de raíz de las plantas de café.

Tratamientos	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	Volumen de raíz (cc)
T1	5	12
T2	7	14
T3	10	14
T4	0	8

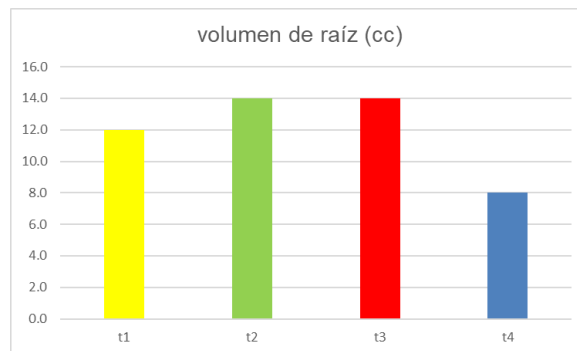


Figura 30. Promedio del volumen de raíz de las plantas de café.

Cuadro 12. Análisis de varianza para volumen de raíces de las plantas de café.

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
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			

Estadísticamente los tratamientos en estudio produjeron diferentes resultados en la variable volumen de la raíz, con una probabilidad de 0.05, por lo tanto, se realizó el análisis de Tukey.

Cuadro 13. Prueba de Tukey para volumen de raíces de las plantas de café.

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
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

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, y por lo tanto, la planta tiene mayor capacidad de absorción de agua y de nutrientes, mejorando el desarrollo de toda la planta.

4.2.5 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 la de 5 g por planta (Tratamiento 1) y la de 7 g por planta (Tratamiento 2), con un número de bandolas promedio de 12; seguido por la dosis de 10 g por planta

(Tratamiento 3) y la de 0 g por planta (Testigo o Tratamiento 4), con un número de bandolas promedio de 11 (cuadro 14, figura 31).

Cuadro 14. Número de bandolas por planta.

Tratamientos	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	Número de bandolas
T1	5	12
T2	7	12
T3	10	11
T4	0	11

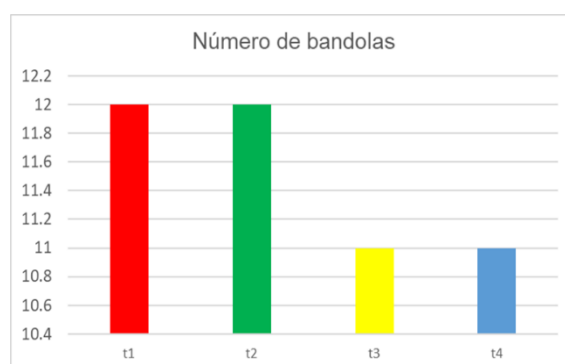


Figura 31. Número de bandolas por planta de café.

Cuadro 15. 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			

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

4.2.6 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 la de 10 g por planta (Tratamiento 3), con un largo promedio de 18.94 cm; seguido por la dosis de 0 g por planta (Testigo o Tratamiento 4), con un largo promedio de 18.83 cm; luego la dosis de 7 g por planta (Tratamiento 2), con un largo promedio de 18.28 cm. El tratamiento con el que se obtuvo el menor largo de bandola promedio fue el Tratamiento 1 (5 gramos por planta), con un largo promedio de 16.16 cm (cuadro 16, figura 32).

Cuadro 16. Promedio del largo de bandolas de las plantas de café.

Tratamientos	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	Largo de bandolas (cm)
T1	5	16.16
T2	7	18.28
T3	10	18.94
T4	0	18.83

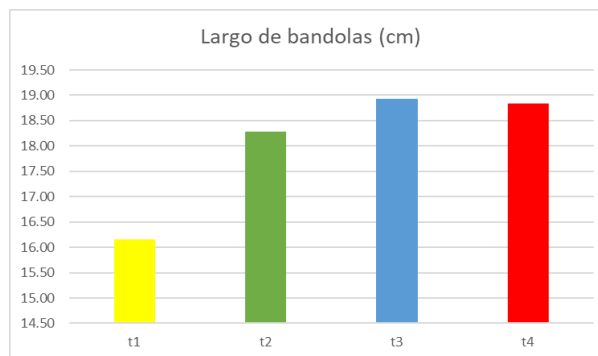


Figura 32. Largo de bandolas de las plantas de café.

En la figura 33 se muestra que el crecimiento de bandolas presento un comportamiento similar entre cada tratamiento en casi todas las semanas registradas, solo obteniendo una pequeña variación en la semana 8.

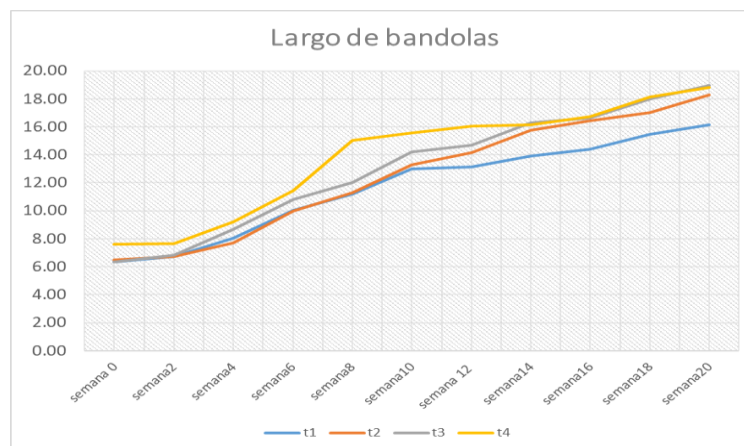


Figura 33. Crecimiento del largo de bandolas por semana.

Cuadro 17. Análisis de varianza para el largo de bandolas.

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			

Estadísticamente los tratamientos en estudio no produjeron efectos significativos sobre la variable largo de bandolas, con una probabilidad de 0.05. Esto demuestra que el Poliacrilato de potasio no tiene influencia en el largo de las bandolas de las plantas de café.

4.3 Análisis químicos

4.3.1 Contenido de potasio en el Poliacrilato de potasio

Al realizar el análisis de laboratorio al Poliacrilato de potasio, presento un contenido de 8.74% de potasio (anexo A-2). La casa comercial no presenta un porcentaje exacto del contenido de potasio del producto, solo presenta el porcentaje de la composición de ácido poliacrílico y sal de potasio en un 96% de la mezcla.

4.3.2 Análisis del suelo

4.3.2.1 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 Tratamiento 1 (5 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de nitrógeno fue de 0.439%; en el Tratamiento 2 (7 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de nitrógeno fue de 0.358%; en el Tratamiento 3 (10 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de nitrógeno fue de 0.411%; y en el Tratamiento 4 (0 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de nitrógeno fue de 0.395% (cuadro 18, figura 34).

Las plantas fueron fertilizadas con fórmula 15-15-15, en dosis de 2 onzas por planta, realizando tres fertilizaciones.

Cuadro 18. Contenido de nitrógeno en el suelo.

Tratamientos	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	Nitrógeno en el suelo (%)
Resultados al inicio de la investigación		
Análisis general	0	0.2335
Resultados al final de la investigación		
T1	5	0.439
T2	7	0.358
T3	10	0.411
T4	0	0.395

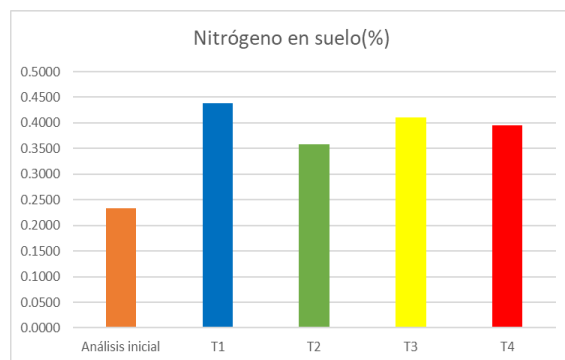


Figura 34. Contenido de Nitrógeno en el suelo.

4.3.2.2 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 Tratamiento 1 (5 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de fósforo fue de 0.164%; en el Tratamiento 2 (7 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de fósforo fue de 0.144%; en el Tratamiento 3 (10 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de fósforo fue de 0.143%; y en el Tratamiento 4 (0 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de fósforo fue de 0.108% (cuadro 19, figura 35).

Cuadro 19. Contenido de fósforo en el suelo.

Tratamiento	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	Fosforo en el suelo (%)
Resultados al inicio de la investigación		
Análisis general	0	0.0755
Resultados al final de la investigación		
T1	5	0.164
T2	7	0.144
T3	10	0.143
T4	0	0.108

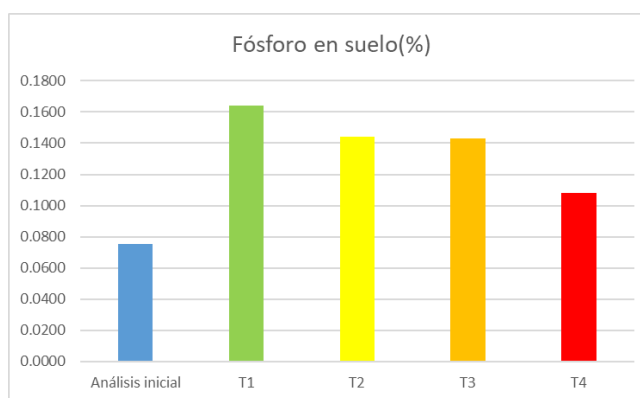


Figura 35. Contenido de fósforo en el suelo.

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 fosforo de 20 a 45 ppm (0.002 a 0.0045 %) (Anexo A-7 y Anexo A-9).

4.3.2.3 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 Tratamiento 1 (5 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de potasio fue de 0.11%; en el Tratamiento 2 (7 g de Poliacrilato de potasio por planta) y en el Tratamiento 3 (10 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de potasio fue de 0.10% en cada uno; y en el Tratamiento 4 (0 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de potasio fue de 0.09% (cuadro 20, figura 36).

Cuadro 20. Contenido de potasio en el suelo.

Tratamientos	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	Potasio en el suelo (%)
Resultados al inicio de la investigación		
Análisis general	0	0.08
Resultados al final de la investigación		
T1	5	0.11
T2	7	0.10
T3	10	0.10
T4	0	0.09

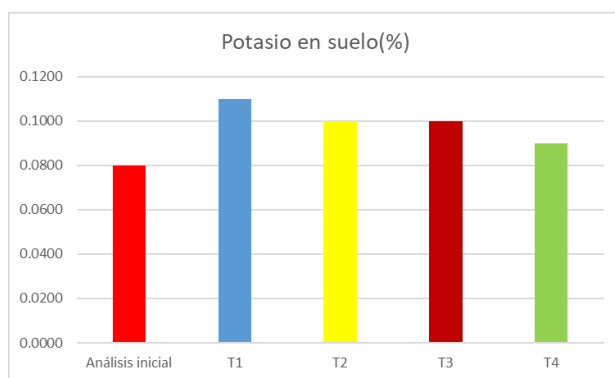


Figura 36. Contenido de potasio en el suelo.

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 muestran un nivel óptimo de potasio de 200 a 282 ppm (0.02 a 0.0285%) (Anexo A-7 y Anexo A-9).

4.3.2.4 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 Tratamiento 1 (5 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de calcio fue de 0.426%; en el Tratamiento 2 (7 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de calcio fue de 0.450%; en el Tratamiento 3 (10 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de calcio fue de 0.329%; y en el Tratamiento 4 (0 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de calcio fue de 0.325% (cuadro 21, figura 37).

Cuadro 21. Contenido de calcio en el suelo.

Tratamientos	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	Calcio en el suelo (%)
Resultados al inicio de la investigación		
Análisis general	0	0.330
Resultados al final de la investigación		
T1	5	0.426
T2	7	0.450
T3	10	0.329
T4	0	0.325

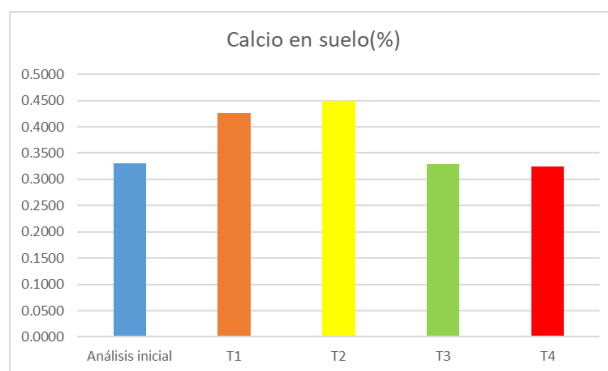


Figura 37. Contenido de calcio en el suelo.

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 %) (Anexo A-7 y Anexo A-9).

4.3.2.5 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 Tratamiento 1 (5 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de magnesio fue de 0.149%; en el Tratamiento 2 (7 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de magnesio fue de 0.147%; en el Tratamiento 3 (10 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de magnesio fue de 0.226%; y en el Tratamiento 4 (0 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de magnesio fue de 0.156% (cuadro 22, figura 38).

Cuadro 22. Contenido de magnesio en el suelo.

Tratamientos	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	Magnesio en el suelo (%)
Resultados al inicio de la investigación		
Análisis general	0	0.040
Resultados al final de la investigación		
T1	5	0.149
T2	7	0.147
T3	10	0.226
T4	0	0.156

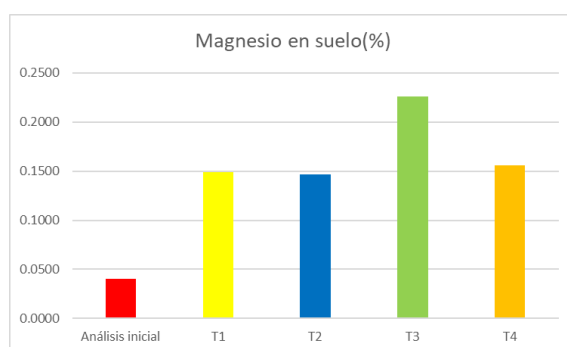


Figura 38. Contenido de magnesio en el suelo.

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 %) (Anexo A-9).

4.3.2.6 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 Tratamiento 1 (5 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de materia orgánica fue de 7.430%; en el Tratamiento 2 (7 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de materia orgánica fue de 7.069%; en el Tratamiento 3 (10 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de materia orgánica fue de 6.914%; y en el Tratamiento 4 (0 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de materia orgánica fue de 7.362% (cuadro 23, figura 39).

Cuadro 23. Contenido de materia orgánica en el suelo.

Tratamientos	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	Materia orgánica en el suelo (%)
Resultados al inicio de la investigación		
Análisis general	0	8.820
Resultados al final de la investigación		
T1	5	7.430
T2	7	7.069
T3	10	6.914
T4	0	7.362

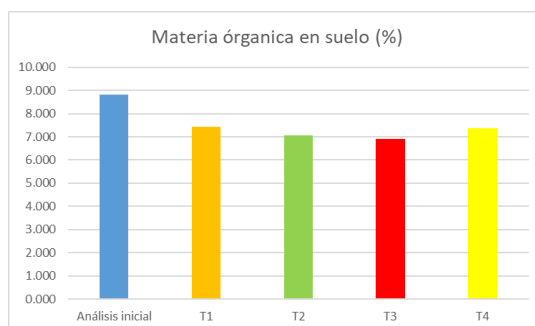


Figura 39. Contenido de materia orgánica en el suelo.

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) la cual se muestra un nivel óptimo de 2.1 a 5.7% (Anexo A-7).

4.3.2.7 pH del suelo

Según los resultados del análisis de suelo, 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 Tratamiento 1 (5 g de Poliacrilato de potasio por planta), el pH fue de 4.65; en el Tratamiento 2 (7 g de Poliacrilato de potasio por planta), el pH fue de 4.52; en el Tratamiento 3 (10 g de Poliacrilato de potasio por planta), el pH fue de 4.13; y en el Tratamiento 4 (0 g de Poliacrilato de potasio por planta), el pH fue de 3.98 (cuadro 24, figura 40).

Cuadro 24. Valor de pH en el suelo.

Tratamientos	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	pH
Resultados al inicio de la investigación		
Análisis general	0	7.20
Resultados al final de la investigación		
T1	5	4.65
T2	7	4.52
T3	10	4.13
T4	0	3.98



Figura 40. Valor de pH en el suelo.

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) (Anexo A-7).

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 como se muestra en el anexo A-11, ya que los elementos más importantes para el desarrollo de la planta son asimilables cuando el pH es neutro.

4.3.2.8 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 Tratamiento 1 (5 g de Poliacrilato de potasio por planta), la acidez intercambiable fue de 0.40; en el Tratamiento 2 (7 g de Poliacrilato de potasio por planta), la acidez intercambiable fue de 0.28; en el Tratamiento 3 (10 g de Poliacrilato de potasio por planta), la acidez intercambiable fue de 0.54; y en el Tratamiento 4 (0 g de Poliacrilato de potasio por planta), la acidez intercambiable fue de 0.58 (cuadro 25, figura 41).

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 4 (testigo) es medio; esto es de importancia ya que si los valores son altos la asimilación de los elementos como el P, K, Ca, Mg entre otros es menor. (cuadro 25).

Cuadro 25. Contenido de acidez intercambiable en el suelo.

Tratamientos	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	Acidez intercambiable (H + Al) (cmol kg ⁻¹)
Resultados al inicio de la investigación		
Análisis general	0	0.04 (Bajo)
Resultados al final de la investigación		
T1	5	0.40 (Bajo)

T2	7	0.28 (Bajo)
T3	10	0.54 (Medio)
T4	0	0.58 (Medio)

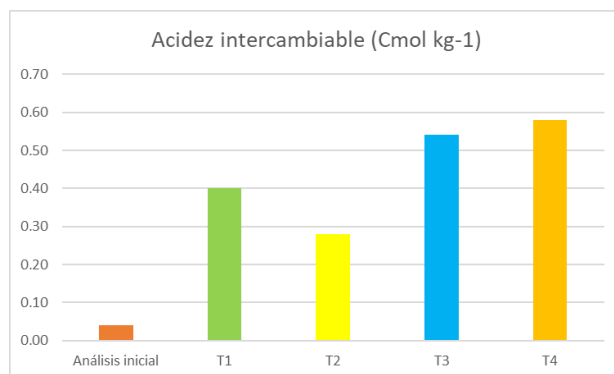


Figura 41. Contenido de acidez intercambiable en el suelo.

4.3.3 Análisis foliar

4.3.3.1 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 presentaron un contenido de nitrógeno de 3.65%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el Tratamiento 1 (5 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de nitrógeno fue de 3.950%; en el Tratamiento 2 (7 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de nitrógeno fue de 4.527%; en el Tratamiento 3 (10 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de nitrógeno fue de 4.167%; y en el Tratamiento 4 (0 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de nitrógeno fue de 4.125% (cuadro 26, figura 42). Para esta variable no se realizó análisis estadístico ya que no se obtuvo repeticiones de los datos presentados.

Cuadro 26. Contenido de nitrógeno en el follaje de las plantas de café.

Tratamientos	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	Nitrógeno en el follaje (%)
Resultados al inicio de la investigación		
Análisis general	0	3.65
Resultados al final de la investigación		

T1	5	3.950
T2	7	4.527
T3	10	4.167
T4	0	4.125

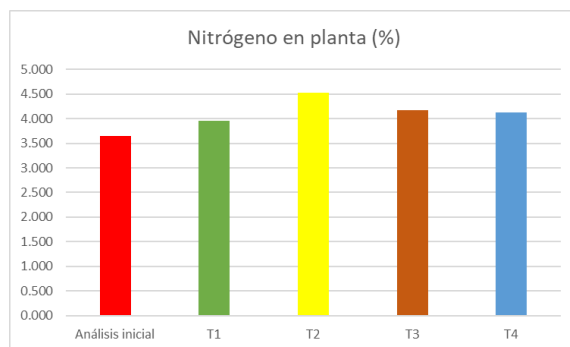


Figura 42. Contenido de nitrógeno en el follaje de las plantas.

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 % (anexo A-10).

4.3.3.2 Contenido de Fósforo en el follaje de las plantas

Según los resultados del análisis foliar, el follaje de las plantas de café al inicio presentaron un contenido de fósforo de 0.4349%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el Tratamiento 1 (5 g de Poliácridato de potasio por planta), el contenido de fósforo fue de 0.234%; en el Tratamiento 2 (7 g de Poliácridato de potasio por planta) el contenido de fósforo fue de 0.238%; en el Tratamiento 3 (10 g de Poliácridato de potasio por planta) el contenido de fósforo fue de 0.274%; y en el Tratamiento 4 (0 g de Poliácridato de potasio por planta) el contenido de fósforo fue de 0.209% (cuadro 27, figura 43).

Cuadro 27. Contenido promedio de fósforo en el follaje de las plantas.

Tratamientos	Dosis de poliácridato de potasio (g)	Fósforo en el follaje (%)
Resultados al inicio de la investigación		
Análisis general	0	0.4349
Resultados al final de la investigación		

T1	5	0.234
T2	7	0.238
T3	10	0.274
T4	0	0.209

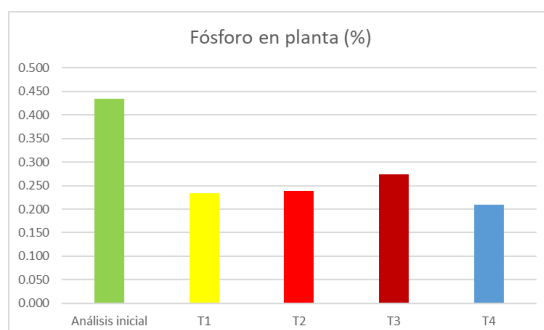


Figura 43. Contenido de fósforo en el follaje de las plantas.

El resultado obtenido en el análisis inicial presenta un nivel alto, mientras que los resultados obtenidos al finalizar la investigación los niveles son óptimos de fósforo 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 % (anexo A-10).

Cuadro 28. Análisis de varianza para el contenido de fósforo en el follaje.

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

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 29. Prueba de Tukey para fósforo en el follaje de las plantas.

Tratamiento	Mediasn	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

Al realizar la prueba de tukey estadísticamente se demostró que el tratamiento cinco el cual es el análisis inicial, presenta los mejores resultados seguido de los tratamientos tres, luego el tratamiento dos y uno con resultados similares y con los menores resultados el tratamiento cuatro con menores resultados, con esto se demuestra que el poliacrilato de potasio influye en el contenido de fosforo en las plantas de café. Esto a pesar que las medias obtenidas son similares.

4.3.3.3 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 utilizadas en la investigación al inicio presentaron un contenido de potasio de 1.72%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el Tratamiento 1 (5 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de potasio fue de 1.62%; en el Tratamiento 2 (7 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de potasio fue de 1.70%; en el Tratamiento 3 (10 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de potasio fue de 1.45%; y en el Tratamiento 4 (0 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de potasio fue de 1.22% (cuadro 30, figura 44).

Cuadro 30. Contenido promedio de potasio en el follaje de las plantas.

Tratamientos	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	Potasio en el follaje (%)
Resultados al inicio de la investigación		
Análisis general	0	1.72
Resultados al final de la investigación		
T1	5	1.62
T2	7	1.70
T3	10	1.45
T4	0	1.22

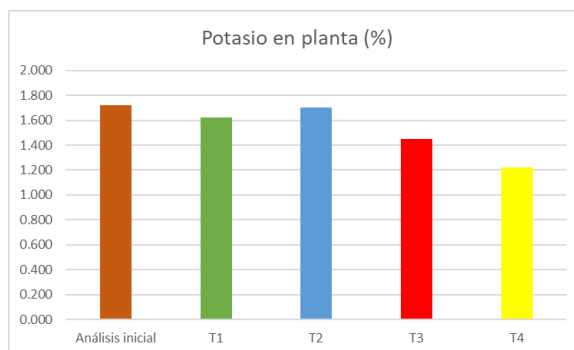


Figura 44. Contenido de potasio en el follaje de las plantas.

Los resultados de potasio son bajos 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 2.20 a 3.0 % (anexo A-10).

Cuadro 31. Análisis de varianza para el contenido de potasio en el follaje.

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	0.41	5	0.08	7.15	0.0681
Tratamiento	0.40	4	0.10	8.72	0.0531
Bloque	0.01	1	0.01	0.89	0.4154
Error	0.03	3	0.01		
Total	0.44	8			

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, 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.

4.3.3.4 Contenido de Calcio 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 calcio de 0.600%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el Tratamiento 1 (5 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de calcio fue 0.903%; en el Tratamiento 2 (7 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de calcio fue 0.520%; en el Tratamiento 3 (10 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de calcio fue 0.504%; y en el Tratamiento 4 (0 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de calcio fue 0.271% (cuadro 32, figura 45).

Cuadro 32. Contenido de calcio en el follaje de las plantas.

Tratamientos	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	Calcio en el follaje (%)
Resultados al inicio		

de la investigación		
Análisis general (T5)	0	0.600
Resultados al final de la investigación		
T1	5	0.903
T2	7	0.520
T3	10	0.504
T4	0	0.271

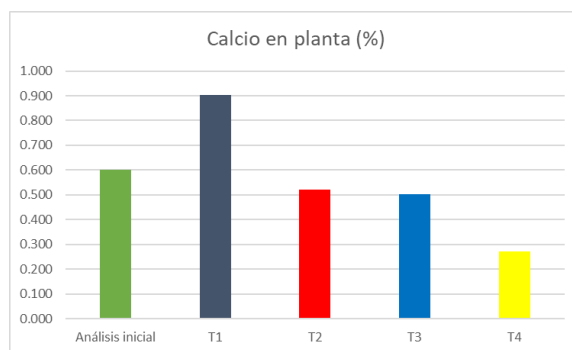


Figura 45. Contenido de calcio en el follaje de las plantas.

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 % (anexo A-10).

Cuadro 33. Análisis de varianza para calcio en el follaje de las plantas.

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	0.42	5	0.08	9.08	0.0495
Tratamiento	0.41	4	0.10	11.19	0.0379
Bloque	0.01	1	0.01	0.62	0.4888

Error	0.03	3	0.01
Total	0.45	8	

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 34. Prueba de Tukey para calcio en el follaje de las plantas.

Tratamiento	Mediasn	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

Estadísticamente el tratamiento que presenta los mejores resultados es el Tratamiento 1, seguido por los Tratamientos 2, 3 y 5 (análisis al inicio de la investigación). El Tratamiento 4 obtuvo los menores resultados.

Estos resultados concuerdan con los resultados descriptivos, por lo que el Poliacrilato de potasio influye en el contenido de calcio en el follaje de las plantas.

4.3.3.5 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 Tratamiento 1 (5 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de magnesio fue 0.386%; en el Tratamiento 2 (7 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de magnesio fue 0.370%; en el Tratamiento 3 (10 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de magnesio fue 0.357%; y en el Tratamiento 4 (0 g de Poliacrilato de potasio por planta), el contenido de magnesio fue 0.363% (cuadro 35, figura 46).

Cuadro 35. Contenido de magnesio en el follaje de las plantas.

Tratamiento	Dosis de Poliacrilato de potasio (g)	Magnesio en el follaje (%)
Resultados al inicio de la investigación		
Análisis general	0	0.17
Resultados al final de la investigación		

T1	5	0.386
T2	7	0.370
T3	10	0.357
T4	0	0.363

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 % (anexo A-10).

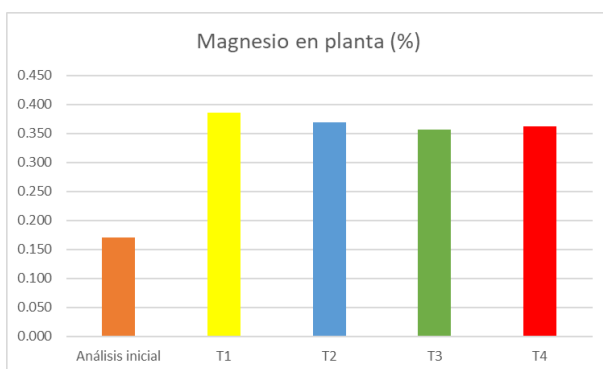


Figura 46. Contenido de magnesio en el follaje de las plantas.

Cuadro 36. Análisis de varianza de magnesio en el follaje de las plantas.

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

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

Tratamiento	Mediasn		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

Al realizar la prueba de Tukey, se demostró estadísticamente que los tratamientos 1, 2, 3 y 4, 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.

4.4 Determinación del costo de la aplicación del Poliacrilato de Potasio en el cultivo del café

4.4.1 Análisis económico

En el cuadro 36 se describen los costos por manzana 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 hecho un ejercicio para la siembra de café variedad Cuscatleco en dos densidades de siembra, 2,500 plantas por manzana y para 3,000 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 \$0.09 dólares y una inversión por manzana de \$218.75 dólares; y para 3,333 plantas por manzana se tiene una inversión de \$297.50 dólares (cuadro 38).

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 \$0.12 dólares y una inversión por manzana de \$306.25 dólares; y para 3,333 plantas por manzana se tiene una inversión de \$411.25 dólares (cuadro 38).

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 \$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 38).

Cuadro 38. 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	T.1, 5 g	12.5 kg	\$17.50/kg	\$0.09	\$218.75
Cuscatleco	3,333	T. 1, 5 g	17 kg	\$17.50/kg	\$0.09	\$297.50
Cuscatleco	2,500	T. 2, 7 g	17.5 kg	\$17.50/kg	\$0.12	\$306.25
Cuscatleco	3,333	T. 2, 7 g	23.5 kg	\$17.50/kg	\$0.12	\$411.25
Cuscatleco	2,500	T. 3, 10 g	25 kg	\$17.50/kg	\$0.18	\$437.50
Cuscatleco	3,333	T. 3, 10 g	34 kg	\$17.50/kg	\$0.18	\$595.00

5. 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, ya que no hay diferencias en los tratamientos.

El uso del Poliacrilato de Potasio no influye en el contenido de 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 \$437.50 dólares por manzana, 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.

6. Recomendaciones

Aplicar el Poliacrilato de potasio previamente hidratado al momento del trasplante de las plantas de café, en la parte media y alrededor del pilón que contiene la planta de café.

Utilizar en el cultivo del café el Poliacrilato de potasio en dosis entre 5 a 10 gramos por planta.

Realizar investigaciones con otras dosis del Poliacrilato de potasio diferentes a las utilizadas en esta investigación

Realizar investigaciones utilizando el Poliacrilato de potasio en plantas de café en el campo para conocer su comportamiento en ambientes no controlados.

Realizar investigaciones utilizando el Poliacrilato de potasio en otras etapas fenológicas del cultivo del café para conocer si influye en la producción.

Evaluar el Poliacrilato de potasio en mayores periodos de tiempo para conocer la relación costo-beneficio de la utilización del producto.

7. Bibliografía

Alburquerque, F. 1997. Metodología para el desarrollo económico local: Desarrollo local. Dirección de desarrollo y gestión local. ILPES (Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social). Chile. 49 p.

Alvarado, C; Rivas, L. 2004. Indicadores de desarrollo local: una Clasificación de los municipios de Cuscatlán. Tesis Lic. San Salvador, El Salvador, Universidad de El Salvador. 244 p.

ANACAFE (asociación nacional de café, Guatemala) (s.f) Guía de variedades de café Guatemala. p. 18-19. (en línea). consultado 11 de agosto 2019. disponible en: <https://www.anacafe.org/uploads/file/9a4f9434577a433aad6c123d321e25f9/Gu%C3%A1-da-de-variedades-Anacaf%C3%A9.pdf>

Anzil, F. 2010. Los Recursos Naturales: definición de Recursos Naturales. Argentina (en línea). Consultado 1 feb. 2018. Disponible en: <https://www.ecolink.com.ar/definicion/recursosnaturales.shtml>.

AOAC (Association of Official Analytical Chemistry). 1984. Official Analytical Chemists. 14 a. Ed. Whington D.C., Estados Unidos. Páginas 15-50

Ávila, A. 2003. El agua, usos del agua (en línea). Consultado el 12 de feb. 2018. Disponible en: http://mimosa.pntic.mec.es/vgarci14/usos_agua.htm.

Badillo, M; Valdera, F; Bodas, V; Fuentelsaz, F; Peitiado, C. 2009. Manual de buenas prácticas de riego, Propuestas para un uso eficiente del agua en la agricultura. Madrid, España. 36 p (en línea). Consultado 14 feb. 2018. Disponible en: http://awsassets.wwf.es/downloads/buenas_practicas_de_riego.pdf.

Barilla, E, Villeda, V, Trujillo, O. 2016. Efecto de tres dosis y dos formas de aplicación del acrilato de potasio o hidrogel sobre el crecimiento y rendimiento de cultivo de frijol *phaseolus vulgaris L.*, establecido en campo abierto en tres localidades del corredor seco de Guatemala. Guatemala. 80 p.

Barón, A; Barreras, I; Boada, L; Rodríguez, G. 2006. Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales, Revista Ingeniería e Investigación, V. 27(3), p. 35-44. Bogotá, Colombia.

CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, El Salvador). 2013. Muestreos de suelo y foliar en cultivo de café. El Salvador. 8 p.

CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Estados Unidos de América). 1992. Definiciones. 27 p (en línea). Consultado el 8 feb. 2018. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>.

Corominas, J. 2014. Guía nueva cultura del agua, los usos del agua en la agricultura. España (en línea). Consultado el 12 de feb. 2018. Disponible en: <https://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/los-usos-del-agua-en-la-agricultura>

CSC (Consejo Salvadoreño del Café). 2017. Estadísticas cafetaleras. El Salvador (en línea). Consultado el 20 feb. 2018. Disponible en: <http://www.csc.gob.sv/estadisticas/>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Roma, Italia (en línea). Consultado el 18 feb. 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, España); UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, España). 2004. Educación para el desarrollo rural hacia nuevas respuestas de política, desarrollo local, España. 461 p (en línea). Consultado el 8 feb. 2018. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001329/132994so.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2007. Recursos naturales. Los desafíos de la escasez y el cambio climático. Roma, Italia (en línea). Consultado el 8 feb. 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/011/i0765s/i0765s13.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Chile). 2016. Cambio climático y seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe, Cambio Climático y Agricultura. Santiago, Chile (en línea). Consultado el 8 feb. 2018. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/docs/Cambioclimatico.pdf

Gonzales A. 2014. Aplicación de hidrogeles como retenedores de agua en forestales. Coahuila, México, 53 p.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina). s. f. Descripción de sistemas de riego. 6 p (en línea). Consultado el 14 de feb. 2018. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_descripcion_de_sistemas_de_riego.pdf

Magaña, R. 2006. Alternativas para el desarrollo, Agua y gobernabilidad en El Salvador (en línea). Consultado el 20 feb. 2018. Disponible en: <http://www.repo.funde.org/459/>

MARN (Ministerio Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador) 2016. Cuatro años continuos de sequía en El Salvador: 2012 – 2015. El Salvador 42 p.

Martínez, M. 2015 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS, 2015-2030) y agenda de desarrollo post 2015 a partir de los objetivos de desarrollo del milenio (2000-2015). Valencia, España. 12 p (en línea). Consultado el 8 feb. 2018. Disponible en: http://quadernsanimacio.net/ANTERIORES/veintiuno/index_htm_files/desarrollo.sostenible.pdf

Nolasco, H. 2013. Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo de México, Poliacrilato de potasio: uso eficiente de agua y nutrientes en el cultivo de ornamentales, México (en línea). Consultado el 18 feb. 2018. Disponible en: [https://www.google.com/sv/search?ei=h0LRWo_DEsSf_QaX0JrQCg&q=Ciencia%2C+tecnología+e+innovación+para+el+desarrollo+de+México%2C+Poliacrilato+de+potasio%3A+uso+eficiente+de+agua+y+nutrientes+en+el+cultivo+de+ornamentales%2C+&oq=Ciencia%2C+tecnología+e+innovación+para+el+desarrollo+de+México%](https://www.google.com/sv/search?ei=h0LRWo_DEsSf_QaX0JrQCg&q=Ciencia%2C+tecnología+e+innovación+para+el+desarrollo+de+México%2C+Poliacrilato+de+potasio%3A+uso+eficiente+de+agua+y+nutrientes+en+el+cultivo+de+ornamentales%2C+&oq=Ciencia%2C+tecnología+e+innovación+para+el+desarrollo+de+México%2C)

NutríFértil. s.f. Captura, retenedor de humedad. Boletín nutrí fértil. El Salvador. 2 p.

Pérez, J; Merino, M. 2016. Recursos Hídricos: definición de recursos hídricos. s.l. 3 p (en línea). Consultado 1 feb. 2018. Disponible en: <https://definicion.de/recursos.hidricos>

PROCAFE (Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café). 2007. Variedad Cuscatleco, características de la variedad cuscatleco. El Salvador. p. 2-4

PROCAFE (Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café). 2010. Manual del caficultor, generalidades del café. El Salvador. 106 p.

PROCAFE (Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café); FOMIN (Fondo Multilateral de Inversiones Miembro del Grupo BID para América Latina y el Caribe); IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica); PROMECAFE (Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura de Centroamérica, República Dominicana y Jamaica). 2011. Caracterización

organoléptica del café con denominación de origen Apaneca-Illamatepec, El Salvador. 12 p.

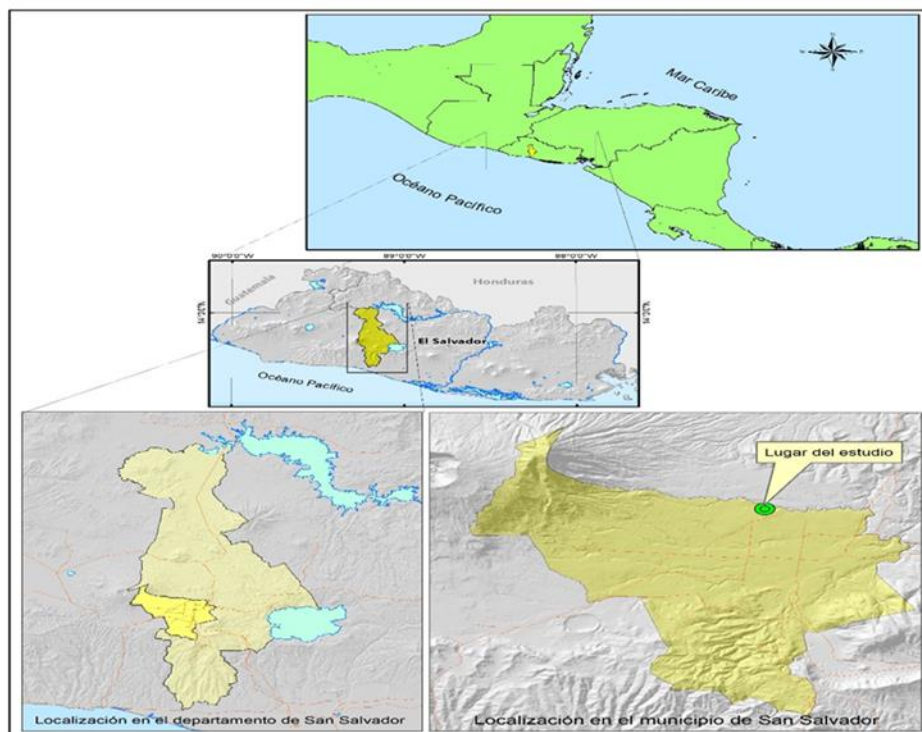
Rico, S. 2006. Lluvia sólida, foro mundial del agua, (4, 2006, México), acciones locales para un reto global, p. 4.

Sequía. s.f. Marcos de planificación estratégica para la protección y la ordenación sostenible de los ecosistemas en zonas propensas a la sequía. El Salvador (en línea). Consultado el 20 feb. 2018. Disponible en: www.un.org/esa/agenda21/natlinfo/countr/elsal/drought.pdf

USAID (Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos). 2015. Actualización de monitoreo remoto, Daños y pérdidas en cosecha de Primera para agricultores de subsistencia. El Salvador, Honduras, y Nicaragua (en línea). Consultado el 20 feb. 2018. Disponible en: <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Centroamerica%20%20Informe%20de%20Monitoreo%20Remoto%20-%20Abril%202015.pdf>

Zapeta, C. 2012. Efecto de cinco dosis de un polímero retenedor de humedad y cuatro frecuencias de riego en almacigo de Rambután (*Nephelium lappaceum L, Sapindaceae*). Tesis Ing. Coatepeque, Guatemala. Universidad Rafael Landívar. 4.

8. Anexos



Anexo A-1. Mapa de ubicación geográfica de la investigación.

Anexo A- 2. Resultados del análisis de suelo inicial de la investigación.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA



RESULTADO DE ANÁLISIS

Fecha de Emisión: Ciudad Universitaria, 8 de mayo de 2019.

Tipo de Muestra: PLANTAS DE CAFÉ

Análisis solicitado: Magnesio, Potasio, Calcio, Fosforo, Nitrógeno, Materia Orgánica

Tipo de Muestra: SUELOS

Análisis solicitado: Magnesio, Potasio, Calcio, Fosforo, Nitrógeno, Materia Orgánica, pH, Conductividad Eléctrica.

Tipo de Muestra: FERTILIZANTES TRIPLE 15

Análisis solicitado: Potasio, Fosforo, Nitrógeno

Usuario: Br. Franklin Solís López

Proyecto: M.Sc. Efraín Urrutia, Estación Experimental y de Practicas/BANDESAL

Id mx	Muestra	Nitrogeno (%)	Potasio %	Fosforo (% P ₂ O ₅)	Calcio (%)	Magnesio (%)	Humedad (%)	pH	Conductividad eléctrica	Materia Orgánica (%)
859	Suelo	0.2335	0.0800	0.0755	0.3300	0.0400	13.00	7.2	151.1 (µs/cm)	8.82
860	Planta	3.6500	1.7200	0.4349	0.6000	0.1700	74.87	NA	NA	NA
861	polimero	NA	8.7400	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Metodología	Micro Kjeldal	Fotometria de llama	Fotometria de llama	Espectroscopia UV/Vis	Fotometria de llama	Absorcion Atómica	Gavimetrico	Potenciometria	Conductivimetria	Volumetrico

Mx-859 Los resultados son "Asimilables"

Analistas: M.Sc. Blanca Lorena Bonilla de Torres, Ing. Agr. Flor de María López Hernández,
M.Sc. Juan Milton Flores Tensos, Lic. Norbis Salvador Solano Melara, M.V.Z. Rudy Antony Ramos Sosa
M.Sc. Freddy Alexander Carranza Estrada

"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"

Lic. M.Sc. Freddy Alexander Carranza Estrada
Jefe del Departamento de Química Agrícola



Anexo A- 3. Resultados del análisis de suelo inicial sobre la acidez intercambiable.



LABORATORIO DE SUELOS
CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA Y FORESTAL



CENAT
CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA Y FORESTAL



GOBIERNO DE EL SALVADOR
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA Y FORESTAL
CENTA "ENRIQUE ALVAREZ CORDOVA"
LABORATORIO DE SUELOS
TEL. 2397-2248 Correo electronico: labsuelos@centa.gob.sv

No. Carta	No. Muestra	Nombre del Productor	Nombre de la Finca	Canton	Municipio	Departamento	Ident.	Profundidad cm	Utilizará riego si o no	Cultivo a fertilizar	Nombre del responsable
20397	m20664	FRANKLIN GEOVANY SOLIS LÓPEZ			SAN SALVADOR	SAN SALVADOR	1	20cm	NO	CAFE	

RESULTADOS DE ANALISIS		
N° Muestra	Acidez Int. (H+Al) (cmol kg ⁻¹)	
M20664	0.04	BAJO

(cmol kg⁻¹) = meq/100 g de suelo

Anexo A- 4. Análisis del fertilizante formulado 15-15-15.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRICOLA



ID	Referencia	Potasio K2O (%)	Fosforo (% P ₂ O ₅)	Nitrogeno (%)	Conductividad Eléctrica (mS/cm)
MXP 009	Fertilizante	9.700	14.645	15.043	
Metodología		Fotometría de llama	Espectroscopia UV/Vis	Micro Kjeldahl	Conductivimetría

Analistas: M.Sc. Blanca Lorena Bonilla de Torres, Ing. Agr. Flor de María López Hernández,
M.Sc. Juan Milton Flores Tensos, Lic. Norbis Salvador Solano Melara, M.V.Z. Rudy Antony Ramos Sosa
M.Sc. Freddy Alexander Carranza Estrada

"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"



Lic. M.Sc. Freddy Alexander Carranza Estrada
Jefe del Departamento de Química Agrícola



Anexo A- 5. Resultados del análisis de suelo final sobre la acidez intercambiable.



CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA Y FORESTAL
CENTA "ENRIQUE ALVAREZ CORDOVA"

LABORATORIO DE SUELOS

ANO 2019

TEL. 2397-2248

Correo electronico: labsuelos@centa.gob.sv

No. Carta	No. Muestra	Nombre del Productor	Nombre de la Finca	Canton	Municipio	Departamento	Ident.	Profundidad cm	Utilizará riego si o no	Cultivo a fertilizar	Nombre del responsable
20066	m20110	FRANKLIN GEOVANY SOLIS LOPEZ			SAN SALVADOR	SAN SALVADOR	T1	20cm	NO	CAFÉ	FRANKLIN SOLIS
	m20111	FRANKLIN GEOVANY SOLIS LOPEZ			SAN SALVADOR	SAN SALVADOR	T2	20cm	NO	CAFÉ	FRANKLIN SOLIS
	m20112	FRANKLIN GEOVANY SOLIS LOPEZ			SAN SALVADOR	SAN SALVADOR	T3	20cm	NO	CAFÉ	FRANKLIN SOLIS
	m20113	FRANKLIN GEOVANY SOLIS LOPEZ			SAN SALVADOR	SAN SALVADOR	T4	20cm	NO	CAFÉ	FRANKLIN SOLIS

ANALISIS DE MUESTRAS PAGADAS		
N° Muestra	Acidez Int. (H+Al) (cmol kg ⁻¹)	
M20110	0.40	BAJO
M20111	0.28	BAJO
M20112	0.54	MEDIO
M20113	0.58	MEDIO

Anexo A- 6. Resultados del análisis de suelo final de la investigación.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA



RESULTADO DE ANÁLISIS

Fecha de Emisión: Ciudad Universitaria, 11 de abril de 2019.

Tipo de Muestra: PLANTAS DE CAFÉ

Análisis solicitado: Magnesio, Potasio, Calcio, Fosforo, Nitrógeno, Materia Orgánica

Tipo de Muestra: SUELOS

Análisis solicitado: Magnesio, Potasio, Calcio, Fosforo, Nitrógeno, Materia Orgánica, pH, Conductividad Eléctrica.

Tipo de Muestra: FERTILIZANTES TRIPLE 15


Análisis solicitado: Potasio, Fosforo, Nitrógeno

Usuario: Br. Franklin Solís López

Proyecto: M.Sc. Efraín Urrutia, Estación Experimental y de Practicas/BANDESAL

Resultados									
ID	Referencia	Magnesio (%)	Potasio (%)	Calcio (%)	Fosforo (% P ₂ O ₅)	Nitrogeno (%)	Materia Organica (%)	pH	Conductividad Eléctrica (mS/cm)
MXP 001	Planta A	0.414	1.61	1.031	0.237	3.950	7.430		
	Planta B	0.358	1.63	0.775	0.231				
MXP 002	Planta A	0.364	1.72	0.507	0.248	4.527	7.585		
	Planta B	0.375	1.68	0.533	0.228				
MXP 003	Planta A	0.363	1.58	0.508	0.269	4.167	7.551		
	Planta B	0.350	1.32	0.499	0.278				
MXP 004	Planta A	0.352	1.21	0.258	0.207	4.125	7.792		
	Planta B	0.373	1.23	0.283	0.211				
MXP 005	Suelo 1	0.149	0.11	0.426	0.164	0.439	7.430	4.65	2.070
MXP 006	Suelo 2	0.147	0.10	0.450	0.144	0.358	7.069	4.52	1.920
MXP 007	Suelo 3	0.226	0.10	0.329	0.143	0.411	6.914	4.13	2.890
MXP 008	Suelo 4	0.156	0.09	0.325	0.108	0.395	7.362	3.98	2.870
Metodología		Absorción Atómica	Fotometría de llama	Fotometría de llama	Espectroscopia UV/Vis	Micro Kjeldahl	TOC	Potenciometría	Conductivimetría

Anexo A- 7. Interpretación de análisis de suelo de PROCAFE.



FUNDACIÓN SALVADOREÑA PARA INVESTIGACIONES DEL CAFÉ "PROCAFE"

TABLA DE INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE SUELO

NIVELES	Partes por millon (ppm)		Miliequivalentes/100 gramos (meq/100 gr)			Porcentaje (%)
	Fósforo (P)	Potasio (K)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Aluminio (Al)	Materia Orgánica (M.O)
BAJO	< 20	< 200	< 5	< 0.82	< 0.7	< 2.1
OPTIMO	20 a 45	200 a 282	5 a 11.25	0.82 a 1.85	0.7 a 1.2	2.1 a 5.7
EXCESIVO	> 45	> 282	> 11.25	> 1.85	> 1.2	> 5.7

NIVELES	Partes por millon (ppm)					
	Hierro (Fe)	Cobre (Cu)	Zinc (Zn)	Manganeso (Mn)	Boro (B)	Azufre (S)
BAJO	< 20	< 3	< 6	< 10	< 0.5	< 20
OPTIMO	20 a 95	3 a 24	6 a 43	10 a 122	0.5 a 2.37	20 a 95
EXCESIVO	> 95	> 24	> 43	> 122	> 2.37	> 95

Clasificación de pH (5.5 a 6.5 es el pH adecuado)

< 4.0 Extremadamente Ácido (EA)	7.0 Neutro (N)	7.1 a 8.0 Ligeramente Alcalino (LAL)
4.1 a 4.9 Fuertemente Ácido (FA)		8.1 a 9.0 Medianamente Alcalino (MAL)
5.0 a 5.9 Medianamente Ácido (MA)		9.1 a 10.0 Fuertemente Alcalino (FAL)
6.0 a 6.9 Ligeramente Ácido (LA)		10.1 Extremadamente Alcalino (EAL)

PROCAFE, OCTUBRE 2007

Anexo A- 8. Cálculos para convertir a porcentaje, parámetros de interpretación de análisis de suelo para potasio, fósforo, calcio y magnesio.

Potasio

Factor de conversión= 10,000

% de potasio= ppm de potasio/ 10,000 % de potasio= ppm de potasio/ 10,000

% de potasio= 200 /10,000 % de potasio= 282 /10,000

% de potasio= 0.02% % de potasio= 0.028%

Fósforo

% de fósforo= ppm de fósforo/ 10,000 % de fósforo= ppm de fósforo/ 10,000

% de fósforo= 20 /10,000 % de fósforo= 45 /10,000

% de fósforo= 0.002% % de fósforo= 0.0045%

Calcio

Ppm de calcio= meq * factor de conversión

Ppm de calcio= 5 *200

Ppm de calcio= 11.25 *200

Ppm de calcio= 1000

Ppm de calcio= 2,250

% de calcio= ppm de calcio/ 10,000

% de calcio= ppm de calcio/ 10,000

% de calcio= 1000 /10,000

% de calcio= 2,250 /10,000

% de calcio= 0.1%

% de calcio= 0.225%

Magnesio

Ppm de magnesio= meq * factor de conversión

Ppm de magnesio= 0.82*122

Ppm de magnesio= 1.85 *122

Ppm de calcio= 100.04

Ppm de magnesio= 225.7

% de calcio= ppm de calcio/ 10,000

% de calcio= ppm de calcio/ 10,000

% de calcio= 100.04 /10,000

% de calcio= 225.7 /10,000

% de calcio= 0.1%

% de calcio= 0.225%

Anexo a- 9. Interpretación de análisis de suelo en porcentaje

INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELO EN PORCENTAJE				
Niveles	Potasio (%)	Fóforo (%)	Calcio (%)	Magnesio (%)
Bajo	< 0.02	< 0.002	< 0.1	<0.1
Optimo	0.02 a 0.0285	0.002 a 0.0045	0.1 a 0.225	0.1 a 0.225
Excesivo	> 0.0285	> 0.0045	> 0.225	> 0.225

Anexo a- 10. Niveles de interpretación de nutrientes en las hojas.

NIVELES DE INTERPRETACIÓN DE NUTRIENTES EN LAS HOJAS													
NIVELES	Micronutrientes (%)						Micronutrientes (ppm)						
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Azufre	Boro	Zinc	Manganeso	Hierro	Cobre	Molibdeno	Aluminio
Deficiente	< 25	< 0.15	< 2.20	< 1.0	< 0.25	< 0.15	< 50	< 12	< 50	< 50	< 6	< 0.10	-
Adecuado	2.5	0.15	2.20	1.0	0.25	0.15	50	12	50	50	6	0.10	-
	a	a	a	a	A	a	a	a	a	a	a	a	-
	3.0	0.30	3.0	2.0	0.40	0.30	100	30	200	200	9	0.20	-
Excesivo	> 3.0	> 0.30	> 3.0	> 2.0	> 0.40	> 0.30	> 100	> 30	> 200	> 200	> 9	> 0.20	> 300

Anexo A- 11. Disponibilidad de los nutrientes según el pH del suelo.

