

Evaluación del desarrollo radicular y la producción del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) clon CCN51 utilizando dos sistemas de fertiriego en la Hacienda Maquencal - Municipio de La Jagua de Ibirico - Cesar.

Erika Tatiana Peñaloza Suarez.

Universidad de Pamplona
Facultad de Ciencias Agrarias
Departamento de Agronomía
Programa de Ingeniería Agronómica
Pamplona
2020.

Evaluación del desarrollo radicular y la producción del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) clon CCN51 utilizando dos sistemas de fertiriego en la Hacienda Maquencal -Municipio de La Jagua de Ibirico - Cesar.

Erika Tatiana Peñaloza Suárez
Código: 1.094.664.029

Trabajo de grado desarrollado en la modalidad de pasantía investigativa presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Agrónomo

Tutor interno

María Natalia Isabel González Mogollón
Ingeniero Agrícola.

Tutor externo

Adriana Yasmin Conde Gelvez
Ingeniero de Producción Agrícola

Universidad de Pamplona
Facultad de Ciencias Agrarias
Departamento de Agronomía
Programa de Ingeniería Agronómica
Pamplona
2020.

Agradecimientos.

A Dios todo poderoso por todas las experiencias de aprendizaje y formación personal vividas hasta el día de hoy, que me han llevado a adquirir grandes conocimientos y crecimiento personal.

A mis padres Rosalba Suarez y Domiciano Peñaloza por ser los pilares de mi vida y quienes han puesto todo su esfuerzo por ver realizado mi sueño.

Por su asesoría y orientación en mi trabajo de grado, agradezco a mis tutoras, Ingeniera Adriana Conde e Ingeniera María Natalia González al estar pendiente de cada detalle de mi trabajo y aportar muy significativamente al desarrollo del mismo para que llegase a feliz término.

A mi hermana Oneyda Peñaloza por el apoyo incondicional en cada escalón de mi formación profesional.

A los profesores e ingenieros agrónomos, por su aporte y colaboración en mi formación como ingeniero agrónomo.

A mi novio por apoyar mi proyecto de vida como ingeniero agrónomo.

Tabla de Contenido.

Agradecimientos.....	3
Lista de tablas.....	5
Lista de figuras.....	6
Lista de gráficas.....	7
Lista de anexos.....	8
Capítulo 1.....	9
Introducción.....	9
1.1 Problema.....	10
1.1.1 Planteamiento del problema.....	10
1.2 Justificación.....	12
1.3 Objetivos.....	13
1.3.1 Objetivo general.....	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
Capítulo 2.....	14
2.1 Marco teórico.....	14
2.1.1 Marco contextual.....	14
2.1.2 Marco legal.....	15
2.1.3 Antecedentes.....	17
2.1.4 Bases conceptuales.....	19
Capítulo 3.....	44
3.1 Metodología.....	44
3.1.1 Diseño experimental.....	44
3.1.2 Sistemas de variables, método y herramientas de medición.....	45
Capítulo 4.....	50
4.1 Resultados y discusión.....	50
4.1.2 Diagrama de caja relación de Productividad Ton/ estadio.....	51
4.1.3 Discusión de resultados.....	55
4.1.4 Análisis estadístico descriptivo Sistema de microaspersión.....	55
Conclusiones.....	56
Recomendaciones.....	57
Bibliografía.....	58

Anexos	61
---------------------	----

Lista de tablas.

Tabla 1. Descripción de variedades de cacao (<i>Teobroma cacao</i> L).	23
Tabla 2. Estadios fenológicos trabajados Hacienda Maquencal.	24
Tabla 3. Interpretación análisis de suelos. Hacienda Maquencal.	25
Tabla 4. Requerimiento nutricional foliar cacao. Hacienda Maquencal.	27
Tabla 5. Plan de Nutrición Hacienda Maquencal.	28
Tabla 6. Causales del taponamiento de tuberías. Hacienda Maquencal.	36
Tabla 7. Actividades a realizar antes, durante y después de la apertura del sistema de riego y fertirriego.	38
Tabla 8. Promedios de la longitud radicular en fertirriego por microaspersión y gotero. Hacienda Maquencal.	46
Tabla 9. Promedios de la cantidad de raíces en fertirriego por microaspersión y gotero. Hacienda Maquencal.	47
Tabla 10. Proyección de producción Bloques estudiados. Hacienda Maquencal.	48
Tabla 11. Promedios de la producción por toneladas de cacao en la Hacienda Maquencal.	49
Tabla 12. Análisis estadístico descriptivo sistema de microaspersión.	55

Lista de figuras.

Figura 1. <i>Ubicación Lote Investigativo. Hacienda Maquencal.</i>	15
Figura 3. <i>Microaspersor. Hacienda Maquencal.</i>	31
Figura 4. <i>Software de limpieza de tubería.</i>	35
Figura 5. <i>Válvula de alivio calibrada.</i>	36
Figura 6. <i>Filtros de micro malla de las zonas de bombeo.</i>	37
Figura 7. <i>Válvulas o hidrantes en campo. Hacienda Maquencal.</i>	41
Figura 8. <i>Electrobomba de fertiirrigación. Y venturi Maquencal.</i>	42
Figura 9. <i>Tanque de 5000 L para disolución de fertilizante. Maquencal.</i>	42
Figura 10. <i>Inyección de la solución del fertilizante a la tubería mayor. Maquencal</i>	43
Figura 11. <i>Determinación de los bloques estudiados con sus tratamientos.</i>	44

Lista de gráficas.

Grafica 1. <i>Precipitación mensual año 2020. Hacienda Maquencal.</i>	29
Grafica 2. Seguimiento de precipitación últimos 5 años. Hacienda Maquencal	30
Grafica 3. <i>Comparativa productividad en sistema de fertirriego por goteo y fertirriego por microaspersión. Hacienda Maquencal.</i>	50
Grafica 4. Dispersión de productividad por estadio. Fertirriego por microaspersión.....	51
Grafica 5. Dispersión de productividad por estadio. Fertirriego por goteo.....	52
Grafica 6. <i>Comparativa longitud radicular en sistema de fertirriego por goteo y fertirriego por microaspersión. Hacienda Maquencal.</i>	53
Grafica 7. <i>Comparativo del Numero de Raíces en sistema de fertirriego por goteo y fertirriego por microaspersión. Hacienda Maquencal.</i>	54

Lista de anexos.

Anexo 1. Determinación de elementos disponibles en el suelo.	61
Anexo 2. Determinación de elementos disponibles en el suelo.	62
Anexo 3. Determinación de elementos disponibles en el suelo.	63
Anexo 4. <i>Determinación Índice de Mazorca</i>	64
Anexo 5. <i>Índice de grano y de mazorca. Maquencal.</i>	64
Anexo 6. Buen índice de grano.	65
Anexo 7. <i>Cacao en secado- Hacienda Maquencal.</i>	65
Anexo 8. <i>Asfixia del desarrollo radicular. Hacienda Maquencal.</i>	66
Anexo 9. <i>Asfixia del desarrollo radicular. Hacienda Maquencal.</i>	67
Anexo 10. <i>Estadio 5, cosecha. Hacienda Maquencal.</i>	67
Anexo 11. <i>Determinación de estadios. Hacienda Maquencal.</i>	68
Anexo 12. <i>Conteo de producción por estadios. Hacienda Maquencal.</i>	68
Anexo 13. <i>Análisis de suelos para realizar el seguimiento de la nutrición. Hacienda Maquencal.</i> .69	69
Anexo 14 <i>Determinación de profundidad de Raíz primaria y secundarias. Hacienda Maquencal.</i> .69	69
Anexo 15. Activación del cojinete floral. Hacienda Maquencal.	70
Anexo 16. <i>Pepinos evaluados de la Hacienda Maquencal.</i>	70
Anexo 17. <i>Estadio 1, Evaluación Hacienda Maquencal.</i>	71
Anexo 18. <i>Estadio 2, Evaluado en la Hacienda Maquencal.</i>	71
Anexo 19. <i>Estadio 3, Evaluado en la Hacienda Maquencal.</i>	72
Anexo 20. <i>Estadio 4, Evaluado en la Hacienda Maquencal.</i>	72
Anexo 21. <i>Estadio 5, Evaluado en la Hacienda Maquencal.</i>	73

Capítulo 1.

Introducción.

La producción de cacao (*Theobroma cacao* L) en materia de oferta y demanda para el año 2018 se reportó un área de 180.000 Ha sembradas en Cacao en el País (MADR, 2018) y en materias de exportaciones ha tenido un ascenso del 48%, dando participación del mercado en Estados Unidos, México, España, y, los Países Bajos. Colombia (Arango, 2019).

En busca de medidas para garantizar una buena producción y calidad del grano logrando la exportación, La Hacienda Maquencal tiene en cuenta el cuidado del medio ambiente, el uso eficiente del agua y uso del suelo utilizando medidas como los sistemas de fertirrigación en la plantación de cacao CCN-51 permitiendo racionar y/o fraccionar el agua y los fertilizantes en cada etapa del cultivo y mejorando el aprovechamiento de la nutrición por planta. El presente trabajo contiene la evaluación del desarrollo radicular y la producción de las plantas de cacao llevado a cabo semanalmente antes, durante y después de aplicación de fertilizantes por los sistemas de goteo y microaspersión. La evaluación permite relacionar la producción y calidad del grano con el desarrollo radicular presente utilizando cada sistema. Los sistemas de fertiriego están compuestos por tuberías principales secundarias y mangueras laterales que alimentan los micro aspersores y micro goteros, el uso de fertilizantes se lleva a cabo luego de analizar la disponibilidad de nutrientes del suelo capaz de ser absorbidos por las plantas, con el propósito de aportar lo que efectivamente necesita cada planta.

1.1 Problema

1.1.1 Planteamiento del problema.

Colombia cuenta con una potencialidad de 2 millones de ha, aptas para el desarrollo de cultivos de cacao (Procolombia, 2012). Se han venido ampliando a través de los años, la siembra en el año 2012 se llegó a 151 144 ha, generando un aumento de 12,96 % con relación al año 2010. El departamento del Cesar según el (MADR 2013) en participación del sector económico la actividad agrícola, reporta 45.713 Ha sembradas en cultivos permanentes, dentro de los que se destacan el cacao con 9.623 Ha, pero el sector minero representa el 41% de la economía, y el sector agropecuario 9 %.

Según el secretario de Ambiente Andrés Felipe Meza, el Departamento cuenta problemas en el desarrollo de algunas actividades productivas, el cual su principal uso del suelo es la explotación minera de carbón, especialmente en los municipios de Codazzi, Becerril, La Jagua de Ibirico y El Paso, generando impactos ambientales y sociales incalculables y complicados de remediar. Conjuntamente, las explotaciones agrícolas y pecuarias mal manejadas con exposición directa a los agentes climáticos, la falta de planificación de los métodos de aprovechamiento del suelo al no tenerse en cuenta los demás elementos naturales (topografía, patrones de drenaje superficial, entre otros) han generado pérdidas del suelo en los horizontes superficiales y debilitado la estructura del suelo productivo. Además, se han venido presentando disminución de agua y se clasifica como competencia entre las comunidades.

Partiendo de la problemática ambiental, el uso del suelo con vocación minera y la disminución del recurso hídrico la Hacienda Maquencal busca medidas para el uso adecuado del suelo y del recurso hídrico, implementando los requisitos de certificación agrícola de Rainforest Alliance como norma de agricultura sostenible y fomento del uso racional de los recursos naturales.

La importancia de la medición del desarrollo radicular y su relación con la producción permite a la hacienda Maquencal determinar cuál sistema de fertirriego es más eficaz ecológica y productivamente.

1.2 Justificación.

El adecuado uso del suelo y del recurso hídrico en la agricultura sostenible son la clave para el desarrollo de una mejor adaptación al cambio climático, obteniendo buena productividad y calidad de producto. El cacao es un cultivo de gran relevancia económica, social y ambiental para Colombia, constituyéndose como especie del sistema agroforestal de mucha importancia para el productor en muchas regiones. En el Departamento del Cesar especialmente en el municipio La Jagua de Ibirico es importante la implementación de cultivos agrícolas que cambien la vocación minera y ayuden con la restauración del suelo, del medio ambiente y del agua. La hacienda Maquencal ubicada en este Municipio permite que a través de su plantación de cacao monoclonal CCN-51 a libre exposición en nivel comercial, genere un aprovechamiento del agua como requerimiento de la plantación mediante la utilización de sistemas de fertirrigación y riego efectivos directamente a la planta y se proyecta en obtener buena producción de cacao con calidad, permitiendo subir el PIB de la economía nacional y abrir mercados en el exterior generando empleo para familias colombianas.

La producción y el ahorro de la lámina de agua permite hacer un uso eficiente del recurso; lo cual favorece la parte las comunidades de la zona en relación de competencia de necesidad hídrica.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

- Evaluar el desarrollo radicular y la producción del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) clon CCN51 utilizando dos sistemas de fertirriego en la Hacienda Maquencal -Municipio de La Jagua de Ibirico - Cesar.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Conocer el comportamiento radicular de la planta de cacao (*Theobroma cacao* L) clon CCN-51 a libre exposición solar utilizando fertirriego por goteo y fertirriego por microaspersión.
- Determinar la relación del desarrollo radicular y la productividad de cacao (*Theobroma cacao* L) clon CCN-51 en cada uno de los sistemas de fertirriego.

Capítulo 2.

2.1 Marco teórico.

2.1.1 Marco contextual.

2.1.1.1 Ubicación del Municipio.

El Municipio de la Jagua de Ibirico está ubicado al Nor-Este colombiano, y del departamento del Cesar con coordenadas $9^{\circ}33'40''N$ y $73^{\circ}20'11''W$ se encuentra a una altura de 150 m.s.n.m. Está constituido por los corregimientos la Victoria de San Isidro, Boquerón y La Palmita. La actividad económica principal del municipio es el carbón siendo uno de los corredores mineros más grandes del país; además se desarrollan actividades como la ganadería de ceba, cultivos de palma y cacao. (Alcaldía, 2019).

2.1.1.2 Ubicación corregimiento las palmitas.

El corregimiento de La Palmita está ubicado, en la vía que conduce Aguachica con el Casco urbano del Municipio de La Jagua de Ibirico- Cesar; dos kilómetros de regreso doblando a la izquierda se encuentra La hacienda Maquencal propiedad de la Empresa COL AGROFORESTAL LA JAGUA ZOMAC S.A.S y sede de 123 TREE con coordenadas $09^{\circ}29'40,3''N$ y $73^{\circ}25'19,1''W$ a una altura de 73 msnm cuenta con una extensión divididas en 3 lotes (lote 1: 117 Ha, lote 2: 203 Ha y lote 3: 117 Ha) de los cuales se tomó lote 1 con un área de 53 Ha para la realización de este trabajo investigativo.

Figura 1. *Ubicación Lote Investigativo. Hacienda Maquencal.*



Fuente. Google Earth (2020).

2.1.2 Marco legal.

2.1.2.1 Reglamento estudiantil de la Universidad de Pamplona, Acuerdo No. 186 de diciembre del 2005.

Por el cual compila y actualiza el Reglamento Académico Estudiantil de Pregrado.

Artículo 35. Definición de trabajo de grado. En el Plan de Estudios de los programas, la Universidad establece como requisito para la obtención del título profesional, la realización por parte del estudiante, de un trabajo especial que se denomina “TRABAJO DE GRADO”, por medio del cual se consolida en el estudiante su formación integral, que le permite: a. Diagnosticar problemas y necesidades, utilizando los conocimientos

adquiridos en la Universidad. b. Acopiar y analizar la información para plantear soluciones a problemas y necesidades específicas. c. Desarrollar planes y ejecutar proyectos, que le permitan demostrar su capacidad en la toma de decisiones. d. Formular y evaluar proyectos. e. Aplicar el Método Científico a todos los procesos de estudio y decisión.

2.1.2.2 Convenio De Cooperación para el desarrollo de prácticas profesionales No 0235 De 2020 suscrito entre la Universidad de Pamplona y Col agroforestal La Jagua Zomac S.A.S

La universidad de Pamplona institución de educación superior, oficial sin ánimo de lucro y con personería jurídica obtenida mediante la resolución número 01 del 24 de enero de 1961 que adquiere el carácter de institución de educación superior oficial de orden departamental a través de los decretos 553 del 5 de agosto de 1970 y 80 del 7 de febrero de 1974 expedidos por la gobernación de Norte de Santander obtuvo reconocimiento institucional como universidad por el decreto no 1550 del 13 de agosto de 1971, con NIT 890.501.510-4 delegado para la suscripción del convenio mediante Resolución No 0279 del 3 de agosto del 2011 quien en el contrato de apertura de convenio se define como la institución educativa por una parte y por otra Jesica Arce Paloma con Identificación CC: 1019041917 Expedida en Bogotá D.C. y representante legal suplente de la empresa COL AGROFORESTAL LA JAGUA ZOMAC S.A.S empresa de carácter privada, con Domicilio en la Hacienda Maquencal del Municipio de la jagua de Ibirico Cesar, dedicado a la silvicultura y otras actividades forestales, identificada con NIT: 901.182.805-0; abren apertura de convenio para desarrollo de prácticas profesionales, con fecha de renovación por cinco años.

2.1.2.3 Recursos Humanos.

El proyecto está bajo la dirección de la Ingeniera en Producción Agrícola Adriana Yasmin Conde Gelvez, egresada de La Universidad Francisco de Paula Santander de Cúcuta, con experiencia laboral de jefe de Unidad en FEDECACAO (Federación Nacional de Cacaoteros) actualmente Gerente de Plantación de la empresa COL AGROFORESTAL LA JAGUA ZOMAC S.A.S.

2.1.3 Antecedentes.

Se han llevado a cabo estudios investigativos relacionados con la eficacia productiva de los sistemas de riego por microaspersión y goteo, pero existen pocos estudios relacionados con el desarrollo radicular y los sistemas de riego. Fisiológicamente se determinó que la planta de cacao es susceptible a la disminución del agua, así como al exceso, lo cual puede causar la muerte por asfixia de las raíces en poco tiempo, por ello la importancia de la identificación del requerimiento hídrico.

2.1.3.1 Antecedentes internacionales.

En un trabajo realizado por Romero y Proaño en el año 2008, denominado “Evaluación del efecto del riego por goteo y microaspersión en la productividad del cacao (*Theobroma cacao*)-CCN 51 en la zona Chongon península de Santa Elena provincia del Guayas” se determinó que el rendimiento por hectárea con cero fertilizaciones, utilizando el riego por goteo al 80% de la lámina programada, alcanza los 44 qq/ha/año, siendo superior a los 37 qq, obtenidos con riego por microaspersión, lo que ratifica la efectividad del primero debido a la menor cantidad de agua requerida.

Por otra parte y en relación al desarrollo radicular, Ochoa (Cuba, 2010) llevó a cabo un trabajo llamado “Impacto del riego por mecha en el desarrollo del sistema radicular de posturas de cacao (*Theobroma cacao* L.) propagadas por microinjertación” consistiendo en el empleo de tres tipos diferentes de mechas de riego y su comparación con la microaspersión aérea (testigo) revelando que con el empleo del riego por mecha los resultados fueron superiores en cuanto al desarrollo del sistema radicular de las posturas, expresado en diámetros de la raíz principal de 0.544 cm y un peso total de las raíces de 16,16 g, a diferencia de la variable longitud de la raíz principal que fue mayor en las posturas sometidas al tratamiento testigo. Además de estos resultados se ahorró el 96 % del agua dispuesta para el riego.

2.1.3.2 Antecedente Nacional.

Pachón, Figueroa y Chavarro, (2014) llevaron a cabo una investigación denominada “Evaluación de sistemas de riego localizado en cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) como estrategia de aumento de la producción en el departamento del Huila” en el cual demostraron que el sistema más eficiente en el uso del agua para el cultivo de cacao en tres municipios y según el Coeficiente de Uniformidad promedio, es el de riego por goteo con un CU = 97,31%, seguido del riego por microaspersión con un CU = 96,42% y por último y no muy distante el sistema de riego con micromanguera con un CU = 85,06.

2.1.4 Bases conceptuales.

2.1.4.1 Generalidades del cultivo de cacao.

El cultivo de cacao tiene sus orígenes en las cuencas del río Orinoco, Amazonas y en las fronteras Colombo-ecuatorianas, desde allí se distribuyó por el norte y el oeste hasta llegar a América Central y domesticarse en México. (Motamayor et al., 2002).

Durante mucho tiempo atrás el consumo del cacao era reservado a las clases altas. El primer fabricante de chocolate fue en París en 1659. Desde allí entre los años 70 y 80 se abrieron más mercados en Francia y en otros países lo cual empezaron los premios de reconocimiento en calidad de la bebida. La primera pastilla de chocolate fue realizada en Inglaterra en 1674, en Holanda se creó el cacao en polvo, mientras que en Suiza se desarrolló el mercado de chocolate con leche y seguido de este el chocolate con avellanas. (Motamayor et al., 2002).

2.1.4.2 Generalidades de Clon CCN-51.

Este clon es originario del Ecuador con alta capacidad productiva. El clon CCN51 fue seleccionado y estudiado por Homero Castro después de cruzamientos de variedades trinitarias, el resultado de los clones ICS 95 y el IMC 67 cruzados en 1965 en la zona de Naranjal en la hacienda “Sofi”, Castro encontró CCN-51 como un clon de alta calidad y gran productividad resistente a las enfermedades. (Salomón, 2011).

2.1.4.3 Clasificación taxonómica del cacao (*Theobroma cacao* L).

Botánicamente el cacao (*Theobroma cacao* L), según (López, 2011), pertenece al Reino: Plantae, Subreino: Tracheobionta, División: Magnoliophyta, Clase: Magnoliopsida, Subclase: Dilleniidae, Orden: Malvales, Familia: Sterculiaceae, Subfamilia: Byttnerioideae, Género: *Theobroma*, Especie: cacao L.

2.1.4.4 Descripción morfológica.

Según la (FAO, 2010) las características morfológicas del cultivo de cacao son:

2.1.4.4.1 Hoja.

Coriáceas o cactáceas, alternas, de color verde, peciolo pubescente o tomentoso, pelos de difusión simples y densos, engrosados, láminas de 12 a 60 cm de largo, 4 a 20 cm de ancho elípticas a obovadas u oblongas.

2.1.4.4.2 Flor.

Es una flor cauliflor; es decir que la flor nace sobre el tallo del árbol, es pentámera con cinco pétalos y cinco sépalos, el cáliz es de color rosa con segmentos puntiagudos; la corola es de color blancuzco, amarillo o rosa. La polinización es entomófila destacando una mosquita del género *Forcipomya*.

2.1.4.4.3 Fruto.

Es una baya de 30 cm de largo y 10 cm de diámetro, lisos o acostillados, elípticos de color rojo, amarillo o Vinotinto, con pared gruesa, de consistencia fuerte. Se dividen interiormente en cinco celdas. Tiene una placenta donde van adheridos los granos de cacao

y es de color blanco. El contenido de semillas por baya es de 20 a 40 y son planas o redondeadas, de color blanco, café o morado, de sabor dulce o amargo, dependiente del clon.

2.1.4.5 Exigencias en clima y suelo.

2.1.4.5.1 Exigencias en clima.

Los factores climáticos para el desarrollo del cacao son excelentes con poca humedad, de 400 a 900 m.s.n.m. (Ramos, 2014). La Hacienda Maquencal se encuentra a 70 m.s.n.m, y la producción de Cacao clon CCN 51 se desempeña en buenas condiciones, sin incidencia de enfermedades fungosas que afectan la producción.

2.1.4.5.2 Temperatura.

La temperatura óptima para el cacao es de 23 a 25°C, aceptando como temperatura mínima 21°C ya que es difícil cultivar cacao satisfactoriamente con una temperatura más baja. La importancia de la temperatura dentro de los rangos óptimos se ve reflejada determina la cantidad de formación de flores. (Ramos, 2014). En el caso de la Hacienda Maquencal en épocas secas donde la temperatura sube por encima de los 30° C y 40 °C días consecutivos se hace aplicación de un protector solar debido a que la plantación no cuenta con sombrero.

2.1.4.5.3 Precipitación.

El requerimiento hídrico del cacao es en promedio de 1500 a 2500 mm/ anual bien distribuidos. Un anegamiento puede provocar asfixia de las raíces y muerte. El nivel freático del suelo es de 1,2 m (Ramo, 2014).

2.1.4.5.4 Viento.

Los vientos fuertes ocasionan desecamiento, muerte y caída de las hojas. Es indispensable tener en cuenta la ubicación de la plantación al momento de la siembra. En las zonas de costa es indispensable el uso de cortinas rompevientos. (Ramo, 2014).

2.1.4.5.5 Exigencias en suelo.

El cacao requiere suelos profundos con textura óptima, franco arcilloso, buen drenaje y buena lámina de agua, donde es escasa la humedad las raíces secundarias y terciarias no se profundizan mayor a veinte centímetros. El suelo tiene un factor limitante y es que la capa húmica se degrada por la exposición solar directa, viento y lluvia directa.

En general el cultivo de cacao tolera suelos como arcillas erosionadas hasta arenas volcánicas recién formadas, así mismo tolera un pH que oscilan entre 4,0 y 7,0. (Ramo, 2014).

2.1.4.6 Variedades comerciales de cacao.

Según (Martinez, 2007). Describe las variedades de cacao de la siguiente manera:

Tabla 1. Descripción de variedades de cacao (*Teobroma cacao L.*)

Variedad	Características
Forastero	Esta población es la más cultivada en las regiones cacaoteras de África y Brasil y proporcionan más del 80 % de la producción mundial. Se encuentra en forma silvestre en países de sur América cerca de la línea ecuatorial, la cascara es de color púrpura, con alta astringencia y bajo contenido de grasa.
Criollo	Su superficie es rugosa y surcos profundos; posee entre 20 y 30 semillas de color blanco, alto contenido de grasa, sin astringencia y bastante aroma; adecuados en cosméticos.
Trinitario	Son el resultado del cruzamiento entre el forastero y el criollo, el cual genera combinación del sabor del cacao criollo con la rusticidad del Forastero, produciendo cacao de mucha demanda.

Fuente. Martínez, (2007)

2.1.4.7 Indicadores trabajos

2.1.4.7.1 Estados fenológicos trabajados.

La siguiente tabla muestra la descripción de la fenología trabajada con autoría propia en la Hacienda Maquencal para determinar las proyecciones de la producción.

Tabla 2. *Estadios fenológicos trabajados Hacienda Maquencal.*

FASES	Características
Activación cojinete floral	Consiste en un porcentaje determinado mediante el conteo de 10 flores que sean productivas (rosada) y se realiza el análisis relacionado a todo el árbol (Ver anexo 15)
Pepinos	Es considerado en el cuajado de la flor cuando tiene entre 1 y 2 cm de longitud. Posee color verde a vinotinto intenso (Ver anexo 16).
Estadio 1	Considerado cuando tiene de 2cm de longitud polar hasta 5 cm. Color verde a vinotinto moderado. (Ver anexo 17)
Estadio 2	Comprende el rango de 5 a 10 cm de longitud polar y de longitud ecuatorial. Color vinotinto moderado(Ver anexo 18)
Estadio 3	Comprende el rango de 10-25 cm de longitud polar y de longitud ecuatorial. Color vinotinto claro(Ver anexo 19)
Estadio 4	Comprende el rango de 20-25 cm de longitud polar y de longitud ecuatorial. Color vinotinto claro. (Ver anexo 20)
Estadio 5	Comprende el rango máximo de crecimiento en cm en las dos longitudes y su color es amarillo o naranja. (Ver anexo 21)

Fuente. Propio (2020).

2.1.4.7.2 Numero de frutos por árbol.

Algunos autores como Phillips et al., (2012), concluye que existe una correlación entre el peso de la semilla y el número de mazorcas presentes en el árbol y depende del comportamiento bianual de la producción.

2.1.4.7.3 Peso del fruto.

Según Arciniegas (2005), existe una baja correlación entre el peso de la mazorca y el número de semillas, sugiriendo que el peso de las semillas que por el número de estas en el fruto.

2.1.4.7.4 Índice de fruto.

Es el número de frutos necesarios para obtener un kilogramo de caco fermentado y seco IPGRI (2000). Este influye en factores como el tiempo de vida o clase condiciones climáticas de la plantación.

2.1.4.7.4 Índice de semilla.

Es definido como el peso promedio en gramos de 100 semillas fermentadas y secas tomadas al azar.

2.1.4.8 Plan nutricional de Cacao utilizado en la Hacienda Maquencal.

La hacienda Maquencal en su plan de nutrición realiza análisis foliares y análisis de suelos después de una temporada de producción para determinar qué elementos quedaron disponibles y cuales se deben ajustar en la aplicación del fertirriego.

Tabla 3. Interpretación análisis de suelos. Hacienda Maquencal.

BASE ELEMENTAL		BASE OXIDO			REQUERIMIENTO PARA PRODUCCIÓN EN TON			
Elemento	Kg/Ha	Base oxido y/o Elemento	kte	Requerimiento 1 Ton	1,6	2	2,5	3
N	470	NO ₃	0,22	103,4	165,44	206,8	258,5	310,2
P	54	P ₂ O ₅	0,44	23,76	38,016	47,52	59,4	71,28
K	745	K ₂ O	0,83	618,35	989,36	1236,7	1545,875	1855,05
Ca	336	CaO	0,71	238,56	381,696	477,12	596,4	715,68
Mg	115	MgO	0,6	69	110,4	138	172,5	207
Mn	6,2	Mn	1,66	10,292	16,4672	20,584	25,73	30,876
Zn	1,7	Zn		1,7	2,72	3,4	4,25	5,1
B	1,78	B		1,78	2,848	3,56	4,45	5,34
S	47	SO ₄	0,33	15,51	24,816	31,02	38,775	46,53

Fuente: Restrepo UNICOR (2020).

Estos requerimientos se hacen con base al análisis de suelos y a la proyección de producción para el ciclo siguiente, determinando en que momento y cantidad de nutriente se le debe proporcionar a la planta para su adecuado funcionamiento.

La tabla muestra el análisis de elemental en Kg/Ha presente en el suelo y la cantidad oxidada, es decir como es recibida por la planta, relacionado con el requerimiento para producción en toneladas donde se tiene en cuenta la proyección de producción al ciclo siguiente y poderle proporcionar la cantidad de toneladas de fertilizantes que necesita la plantación; relacionando la cantidad de plantas por lote y la fracción del fertilizante.

Tabla 4. *Requerimiento nutricional foliar cacao. Hacienda Maquencal.*

REQUERIMIENTO NUTRICIONAL CACAO		
FOLIAR		
BASE ELEMENTAL		
<i>Elemento</i>	<i>Unidad</i>	<i>Kg/Ha</i>
N		1.9-2.3
P		0.15 -0.18
K	%	1.7-3
Ca		0.9-1.2
Mg		0.4-0.7
S		0.17-0.2
Mn		150-200
Zn		50-70
B	µg g ⁻¹	30-40
Cu		10-15
Fe		150-200
Mo		0.5-1

Fuente. Restrepo (2020).

Estos estudios fueron realizados para que el cultivo entrara en producción y no hubo diferencia en la aplicación del plan de fertilización (Tabla 5) al utilizar los dos sistemas de fertirriego.

La tabla muestra las constantes trabajadas para el análisis de disponibilidad de nutrientes presente en la planta reflejada en análisis foliar para cacao (*Theobroma cacao* L), la cual se debe tener en cuenta para comparar al momento de tener el análisis foliar de cada lote al que se le quiere aplicar el fertirriego.

Tabla 5. *Plan de Nutrición Hacienda Maquencal.*

Plan de Nutrición												
PRODUCTO	TOTAL Kg/Ha	NO ₃	P205	K20	MgO	S	CaO	Mn	Zn	B	Cu	SiO ₂
FOSKFER (P2 O5 52; K2O 34)			0	0								
SULFATO (50 K2O; 18 S)	50			25		9						
KRISTA K (13.6 N; 45.7 K2o)		0		0								
CALCINIT (15.5 N; 26.5 CaO)												
K-MAG (22 K2O; 18Mg; 22S)												
AMIDAS (40N; 5.6 S)												
KCL (60 K2O)	200			120								
TOTAL	250	0	0	145		9	0	0	0	0	0	

Fuente. Restrepo (2020).

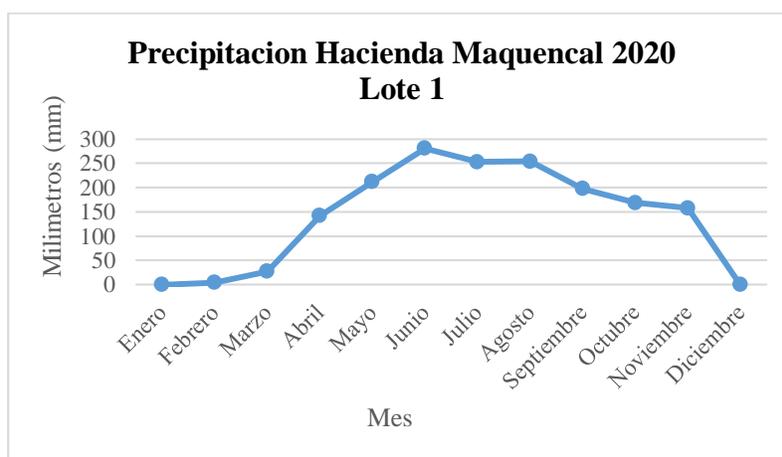
En plan de nutrición se maneja teniendo en cuenta la relación Calcio 350 : Boro 1 ppm y la acidez del suelo mediante aplicación de sulfatos. Como foliar se aplica el Boro Zinc cumpliendo una combinación de elementos menores resaltando el Boro como importante en la formación de la Mazorca. La fertilización por sistema de fertirriego se realiza con elementos mayores. Dentro de los elementos mayores no se hace aplicación de Nitrógeno porque según los análisis de disponibilidad de nutrientes y del análisis foliar hay una cantidad muy alta y se debe equilibrar, para evitar que la planta desarrolle más la etapa vegetativa que la productiva se realiza una la aplicación de K crea una conductividad de movilización de todos los elementos mayores y menores.

2.1.4.9 Precipitaciones en la Hacienda Maquencal.

Para la inyección de los fertilizantes al suelo por medio del fertirriego se estipula de acuerdo a la capacidad hidráulica y la capacidad en campo presentada en el momento, teniendo en cuenta que una hora de aplicación suministra 2,35 milímetros, donde el tiempo requerido de precipitación para el cultivo de cacao es de 6mm los cuales equivalen a 2 horas de riego con microaspersión y 1 hora riego por goteo derivándose de la capacidad de campo para el suministro de la cantidad de agua disuelto el fertilizante.

De esta parte nace el interés de realizar un próximo trabajo investigativo para evaluar el comportamiento de la evapotranspiración, o pérdida de agua durante el día con el fin de analizar las horas de riego optimas a suministrar a la planta y en cada etapa necesaria para la aplicación de riego o fertirriego.

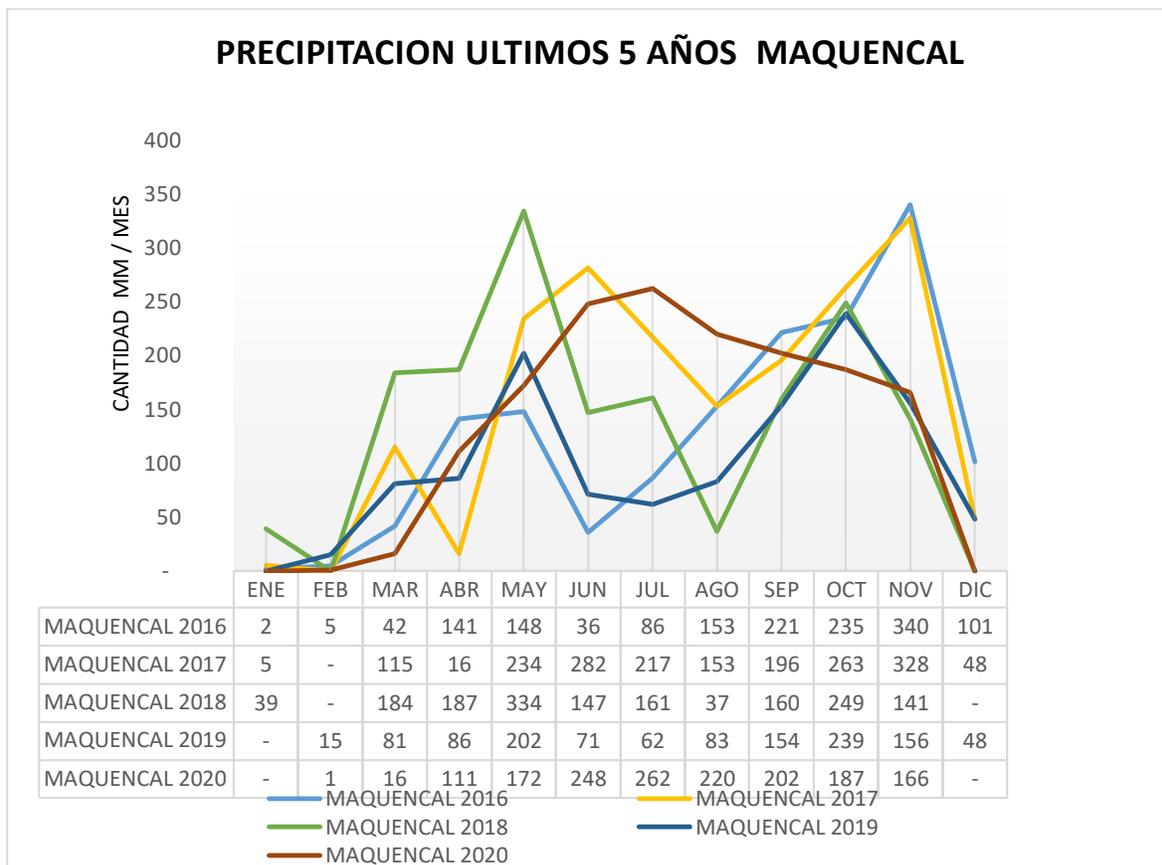
Grafica 1. *Precipitación mensual año 2020. Hacienda Maquencal.*



Fuente. Hacienda Maquencal. Hernández (2020).

La aplicación del fertirriego se realizó entre finales de septiembre y comienzo de octubre.

Grafica 2. Seguimiento de precipitación últimos 5 años. Hacienda Maquencal



Fuente. Hacienda Maquencal. Hernández (2020).

El presente año hubo una variabilidad de las precipitaciones a comparación de 5 años atrás donde los meses de sequía se intercambiaron con los meses de lluvias. El programa de fertirrigación se llevó a cabo normalmente cada dos meses, el ciclo de fertirriego, pero las precipitaciones generaron más tiempo en la etapa vegetativa y retrasando la etapa productiva en dos meses.

2.1.4.10 Recursos Físicos y Caracterización sistemas de fertirriego.

Uso de palín: con el objeto de observar el sistema radicular de la planta.

Uso de Decámetro: Con el objeto de medir a que distancia del tallo se encuentran la mayor totalidad de raíces terciarias y el largo de las raíces secundarias determinado según los tipos de riego.

2.1.4.11 Sistema de fertirriego por microaspersor.

Es utilizado un microaspersor rondo de flujo regulado con tapa anti-insectos de provisto de su respectiva estaca y micro tubo para ser insertado en un lateral de polietileno de 16mm, previamente extendido por cada doble hilera de cultivo (cada 6,2 mts) y con una distancia de 4.8 m entre uno y otro.

Figura 2. *Microaspersor. Hacienda Maquencal.*



Fuente: Propio (2020).

Cada micro aspersor descarga 70 Lts /hora cada bloque se programa por 2 horas con total de 140 litros. $140 / 3 \text{ plantas por micro aspersor} = 46 \text{ lts/planta/2 horas.}$

2.4.1.12 Sistema de fertirriego por microgotero.

Consta de un micro-gotero el cual descarga un lamina de 4 litros/hora, los cuales se encuentran conectados a dos líneas de 16mm del surco de la plantación, con distancias de 2.8m entre una planta a otra, en la planta adulta van instalados 4 micro-goteros a una profundidad de 10cm, los cuales riegan una lámina 16mm/hora/planta, en la plántula pequeña van instalados 2 micro-goteros a una profundidad de 10cm, los cuales riegan una lámina de 8mm/ hora, logrando un bulbo de riego alrededor de la planta de 80cm.

Datos del cálculo:

- Lamina neta 6mm
- Frecuencia del riego: diaria
- Eficiencia del riego, $> o = 90\%$ ya que es un sistema de riego regulado hace referencia a la perdida por hojarasca que permite que el fluido que evaprice.
- Lamina de riego mm/hora: 2,35mm, lámina de agua que cubre en una hora
- Duración de cada riego: 2 Horas por turno dependiendo de la capacidad de campo del cultivo y volumen del caudal de la quebrada.
- Numero de turnos de riego: Ocho (8) y (10) turnos en promedio por frecuencia de riego por bloque en orden.
- Total, de horas dedicadas al riego por día: 20 horas hace referencia a los 10 turnos de dos horas.
- Caudal o descarga de cada aspensor de riego, diámetro húmedo y presión de trabajo requerida: Microaspensor rondo de flujo regulado de 70 litros por hora, 6 metros de diámetro de húmedo con presión de trabajo entre 1.5 a 3 bares.

- Capacidad máxima del sistema: $400\text{m}^3/\text{h}$, electrobomba la capacidad.
- Espaciamiento entre Microaspersores: 4.8 metros.
- Número de Microaspersores que operan simultáneamente: 5.040 unidades en promedio por turno de riego.
- El lateral de riego calculado es en polietileno de 16mm con una longitud máxima de 62,5 metros.
- La presión total requerida al comienzo del lateral es de 23,72 metros columna termina con 18 psi.
- Las redes de conducción principales que proveerán agua al cultivo están calculadas en PVC de 8" y 6" RDE 41.
- El caudal promedio del sistema por hora es de 353m^3 .
- Las sumatorias de pérdidas por fricción en válvulas y accesorios asciende a 0.9 bares.
- La altura dinámica total del sistema requerida es entonces 70 metros columna de agua (antes de filtrado).

2.4.1.13 Mantenimiento de los sistemas de fertirriego.

Un buen mantenimiento de un sistema de fertirriego implica la revisión y evaluación de todos sus componentes antes, durante y después de la temporada de riego.

Incluye:

2.1.4.14 Bombas de riego.

Rodamientos, sellos mecánicos, medición de aislamiento de bobinado, Equipos de filtrado: Limpiar filtros.

2.1.4.15 Fertirrigación.

Limpieza, calibración, revisión de buster, rodamientos, sellos mecánicos, medición de aislamiento de bobinado, Red de riego y emisores: lavar la tubería principal y los laterales de riego, Controladores y sensores: limpieza y calibración.

2.1.4.16 Medidores de flujo, válvulas y reguladores de presión.

Control de cierre y apertura, protecciones de transientes: Válvulas de alivio de 4`` protegen el sistema de riego de la presión que si sube a 120 psi se disparan. (Mediciones de tierra).

Luego se procedió a la revisión de toda la tubería por válvula. Para la operación de los equipos; y se verifico que presión generada por el motor de bombeo agua arriba de los filtros alcanzo el nivel deseado, cuando la presión baja, el funcionamiento de todo el sistema de riego se ve afectado y ocasiona daños en el interior de la bomba.

2.1.4.17 Limpieza antes de iniciar el fertirriego.

La limpieza se realizó, por medio de la circulación de agua por la red con una presión un poco mayor que la de la operación del equipo, en por medio del cual se dejan abiertos los finales de las tuberías (tapones finales) de las tuberías.

Figura 3. *Software de limpieza de tubería.*



Fuente. Propio. (2020)

2.1.4.18 Mantenimiento de filtrado.

Una vez instalado el sistema de riego se tuvo en cuenta el medidor de caudal (Volumétrico) y el medidor de presión (manómetro), con el fin de evaluar las presiones del sistema antes y después de los filtros, los cuales nos indican el buen funcionamiento del sistema.

Si el medidor de presión nos indica una lectura baja de presión, significa que una sección se encuentra con una tubería averiada, varias secciones de válvulas abiertas o exceso de caudal en los emisores.

Figura 4. *Válvula de alivio calibrada.*



Fuente. Peñaloza (2020).

La Gerente de plantación Adriana Conde y el supervisor del área de riego y fertirriego Carlos Chaverra determinaron mediante evaluación del agua que las siguientes causales obstaculizan el paso del agua por la tubería.

Tabla 6. *Causales del taponamiento de tuberías. Hacienda Maquencal.*

Potencial De Taponamiento Causada Por Aguas Con Diferentes Propiedades			
Propiedades Químicas	Bajo	Moderado	Severo
Ph	< 7.0	7.0 – 8.0	> 8.0
Bicarbonato (Ppm)		< 100.0	
Hierro (Ppm)	< 2.0	0.2 – 1.5	> 1.5
Sulfuros (Ppm)	< 2.0	0.2 – 2.0	> 2.0

Fuente. Conde (2018).

El sistema de filtrado es de gran importancia, ya que este nos garantizara el éxito del sistema de riego. (Chaverra, 2020).

2.1.4.19 Filtros de malla y micro-malla.

Son dispositivos relativamente simples, compactos y rentables, funciona en forma eficiente en un amplio rango de calidades y caudales diferentes de agua, y están generalmente construidos en metal, plástico o paño sintético. Los filtros de mallas se limpian con agua o removiendo la malla y limpiándola manualmente. Dependiendo del método de lavado utilizado, algunos de ellos requieren ser limpiados periódicamente a mano para remover los restos de residuos que no fueron eliminados mediante el lavado. Lave los filtros de malla cuando la diferencia de presión antes y después del filtro es mayor de 0,8 Atm.

Figura 5. *Filtros de micro malla de las zonas de bombeo.*



Fuente. Propia (2020).

Tabla 7. *Actividades a realizar antes, durante y después de la apertura del sistema de riego y fertirriego.*

Mantenimiento	Antes	Durante	Después
Filtros de malla y micro malla	<p>Verificar el sistema de filtrado.</p> <p>Comprobar el nivel y grado de suciedad en los filtros de arena.</p> <p>Verificar el grado de desgaste de la arena y cambiarla si es necesario.</p> <p>Verificara el estado de la malla y grado de suciedad.</p>	<p>Cada dos días:</p> <p>Asegurar que el equipo de filtrado y las válvulas de control operan correctamente.</p> <p>Comprobar si es necesario la limpieza de los filtros.</p> <p>Mensualmente:</p> <p>Quitar cubierta en filtros de arena para inspeccionar el nivel de arena.</p> <p>Comprobar que las válvulas que regulan los circuitos de limpieza están correctamente ajustadas.</p> <p>Revisar que no haya fugas en las conexiones del sistema.</p> <p>Mantenimiento de válvulas según las recomendaciones de los fabricantes.</p> <p>Revisar los componentes del sistema de control.</p>	<p>Lavar y drenar el equipo de filtrado.</p> <p>Examinar el interior de filtros e hidrociclones: comprobar sistemas de deterioro (corrosiones, desgastes.)</p> <p>Mantenimiento adecuado de válvulas.</p> <p>Filtros de limpieza automática: Desconectar los equipos y comprobar el estado de los cables y contactos eléctricos.</p>

Filtros sistema con de

- Asegurara que las conexiones eléctricas estén limpias y apretadas.

limpieza automática	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que los contactos eléctricos estén libres de corrosión y sin desgastar. • Realizar un Test desde el controlador de riego para ver el funcionamiento de los solenoides. (Manual de Galileo). • Medir la señal de presostato diferencial al controlador. (Manual de Galileo). 		
Mantenimiento de medidores de flujo, válvulas y reguladores de presión.	<p>Inspeccionar las carcasas.</p> <p>Abrir y limpiar las electroválvulas.</p> <p>Verificar que los elementos operen correctamente.</p>	<p>Inspección y verificación de las válvulas y elementos que funcionen correctamente.</p> <p>Lubricación de válvulas según las recomendaciones de los fabricantes.</p>	<p>Inspeccionar las carcasas.</p> <p>Drenar y limpiar las válvulas.</p> <p>Limpia corrosión, tierra y otros materiales ajenos a los elementos.</p> <p>Asegurar que las válvulas estén abiertas.</p>
Mantenimiento de la red de distribución o red de riego	<p>Abrir el final de las tuberías y hacer circular el agua.</p> <p>Poner la red de riego en funcionamiento para ver la existencia de fugas.</p> <p>Medir el coeficiente de uniformidad.</p>	<p>Inspecciones de las válvulas diariamente para asegurarse de que no hay fugas. Verificar que los elementos operen correctamente.</p> <p>Lubricación de válvulas según las recomendaciones de los fabricantes.</p> <p>Verificar que las válvulas funcionen correctamente.</p>	<p>Reparar las fugas detectadas durante la campaña de riego o fertirriego. Drenar la red de tuberías incluyendo las laterales.</p> <p>Abrir todas las válvulas.</p> <p>Revisar si hay corrosión y consultar con el técnico posibles medidas.</p>
Mantenimiento de los emisores	<p>Revisar los emisores que puedan estar averiados o dañados.</p>	<p>Verificar los emisores que puedan estar averiados o dañados.</p> <p>Verificar el funcionamiento</p>	<p>Hacer medidas de uniformidad de aplicación.</p> <p>Inyectar una dosis fuerte de ácido,</p>

Verificar visualmente que los emisores funcionen correctamente.	correcto de los emisores.	de los cloro o algún limpiador, si existen problemas de taponamiento químico o biológico.
Prevenir o tratar problemas de obturaciones.	Prevenir o tratar problemas de obturaciones.	
		Recoger tuberías laterales y guardarlas hasta su próximo uso

Fuente: Chaverra (2020).

2.1.4.20 Mantenimiento de los emisores.

Las partículas muy finas pasan por los filtros y pueden tapar los emisores, debido a la poca velocidad del agua y poca turbulencia, sedimentándose comúnmente en las puntas distantes de las líneas laterales, lo cual se deben lavar los emisores y la línea. Las líneas principales, secundarias y válvulas son lavadas por medio de terminales, instalados al final de la tubería principal y los laterales. Las líneas laterales se deben lavar manualmente (DIARIO), es importante realizar el lavado por lo menos cada 2 semanas durante la temporada de riego y fertiriego.

2.1.4.21 Válvulas de campo.

La operación de las válvulas se realiza desde los cabezales de riego a través de mandos hidráulicos de polietileno que van a cada una de las válvulas de campo desde el cabezal central de riego. Controlando el flujo de agua en todo momento, regulando la presión y el caudal, asegurando un funcionamiento óptimo en el sistema de riego.

Figura 6. *Válvulas o hidrantes en campo. Hacienda Maquencal.*



Fuente: Propia (2020).

2.1.4.22 Inyección de fertilizante.

La inyección del fertilizante del cultivo será efectuada a través del equipo de riego con un inyector Venturi asistido de un electro bomba de 5.H.P el cual succiona de tanques preparados con la solución de fertilizantes e inyectado en las redes de tubería en PVC principales.

Figura 7. *Electrobomba de fertirrigación. Y venturi Maquencal.*



Fuente: Propio (2020).

Figura 8. *Tanque de 5000 L para disolución de fertilizante. Maquencal.*



Fuente: Propia (2020).

Figura 9. *Inyección de la solución del fertilizante a la tubería mayor. Maquencal*



Fuente. Propia (2020).

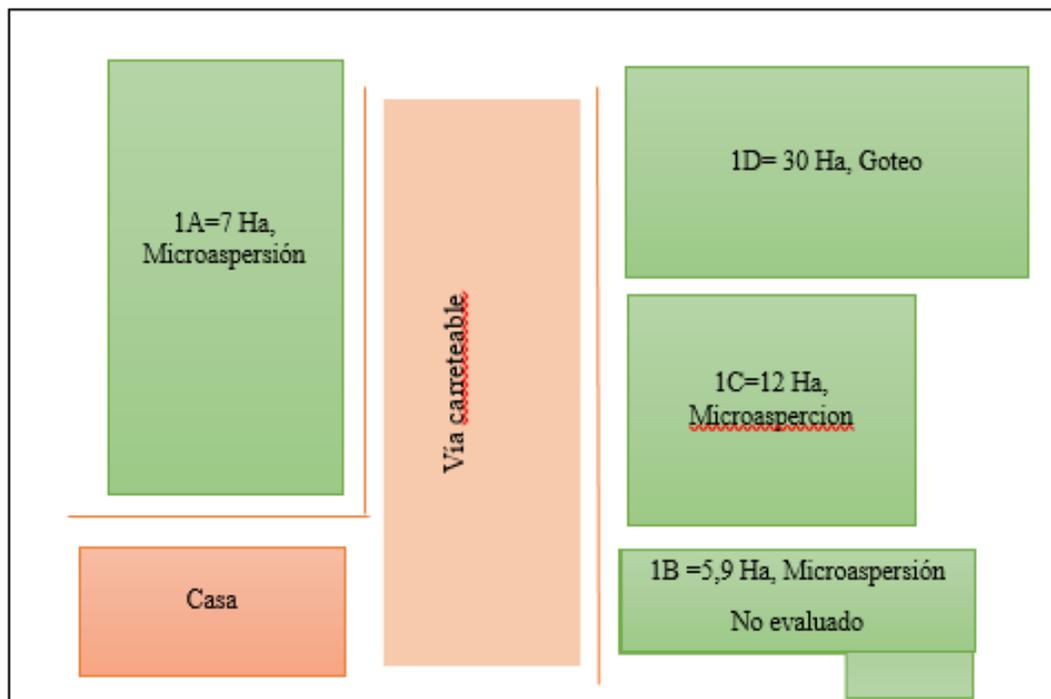
Capítulo 3.

3.1 Metodología

3.1.1 Diseño experimental.

La plantación de la Hacienda Maquencial tiene una densidad entre plantas de 2,40 m con modelo de doble hilera en triangulo y distancia entre surcos 3 m determinada como calle de trabajo, en total 1152 Pl/ha se referenciaron cuatro puntos al azar Bloque 1D, (Trat.1 Fertirriego por gotero) y 4 puntos sumados en el Bloque 1A y 1C (Trat. 2 Fertirriego por microaspersión); con el objetivo que el resultado generado fuera más homogéneo teniendo en cuenta la extensión por hectáreas.

Figura 10. Determinación de los bloques estudiados con sus tratamientos.



Fuente: Propia (2020).

Después de tener referenciados los puntos se marcaron 10 plantas en “L” para realizar el estudio, en cada uno de los bloques mencionados; teniendo en total 40 plantas evaluadas por tratamiento. Los datos tomados fueron semanalmente; se realizó conteo de producción y el porcentaje de activación del cojinete floral teniendo en cuenta el sistema de monitoreo para proyección de producción llevado a cabo en la Hacienda (Tabla 9). Para el estudio de desarrollo radicular se tomaron datos en los mismos puntos de evaluación de producción, tomando 5 plantas por tratamiento y referenciando una raíz secundaria por planta, aclarando que tenían un promedio de 7 a 10 raíces secundarias/planta a profundidad menos de 20 cm en los dos sistemas.

En los análisis se trabajó como variables independientes los dos sistemas de fertirriego, y dos variables dependientes entre si la longitud y el número de raíces.

La productividad también fue evaluada teniendo como base el estudio analítico de adecuación de nutrición, y se aplicó el mismo fertilizante adecuando su cantidad respecto al bloque (Anexo 1,2, y 3) llevando a cabo un plan de nutrición por expertos en el área, de la empresa UNICOR S.A.

3.1.2 Sistemas de variables, método y herramientas de medición

3.1.2.1 Longitud en cm de raíces terciarias.

Esta variable se llevó a cabo mediante un seguimiento a una (1) raíz secundaria marcada enterrando una estaca en el final de la raíz en la planta y semanalmente se media con cinta métrica la elongación nueva de la raíz terciaria en cada tratamiento.

3.1.2.2 Numero de raíces terciarias.

El número de raíces terciarias se ejecutó seguido de la marcación enterrando una estaca en el final de la raíz, se hizo seguimiento a la raíz secundaria, semanalmente donde se determinó el número de raíces que no estaban oxidadas.

3.1.2.3 Desarrollo de la productividad.

Hace referencia al % de activación del cojín floral por planta y del conteo de cada uno de los estadios como se muestra en la (Tabla 2) con sus características que se llevó a cabo semanalmente en cada sistema de fertirriego.

3.1.3 Procesamiento de la información.

Tabla 8. Promedios de la longitud radicular en fertirriego por microaspersión y gotero. Hacienda Maquencal.

TRATAMIENTO	Variable	SEM 37	SEM 38	SEM 39	SEM 40	SEM 41	SEM 42	SEM 43	SEM 44	SEM 45
Gotero	Longitud radicular (cm)	0,36	0,31	0,13	1,60	1,14	1,38	0,53	3,91	0,00
Microaspersión	Longitud radicular (cm)	1,46	1,28	0,13	2,69	1,38	1,17	4,36	3,15	4,47

Fuente: Propio (2020).

Según los promedios tomados en cada semana, la longitud fue mayor en mediante la utilización de fertirriego por microaspersión.

Tabla 9. Promedios de la cantidad de raíces en fertirriego por microaspersión y gotero. Hacienda Maquencal.

TRATAMIENTO	Variable	SEM 37	SEM 38	SEM 39	SEM 40	SEM 41	SEM 42	SEM 43	SEM 44	SEM 45
Gotero	Nº Raíces Terciarias	0,75	0,50	0,50	2,75	1,25	1,25	1,00	0,50	0,00
Microaspersión	Nº Raíces Terciarias	1,50	1,75	0,75	4,75	0,50	2,00	1,50	3,00	5,00

Fuente: Propio (2020).

Las anteriores tablas fueron obtenidas con la media o promedio de las variables en cada punto de cada tratamiento tras el seguimiento semanal de conteo de raíces terciarias en una raíz secundaria y la medición de la longitud realizada por bloque correspondiente. El crecimiento y el número de raíces fue mayor en el fertirriego por microaspersión, pero al comparar la producción con Tabla 10. El fertirriego por gotero obtuvo mejor producción y mayor grano.

Tabla 10. Proyección de producción Bloques estudiados. Hacienda Maquencal.

% Activación del cojinete	BLOQUE	N° plantas productivas	Promedio mazorcas/ árbol/estadio					promedio total mazorcas /bloque					Total kilo de cacao seco/BLOQUE					Total Kg de cacao seco/BLOQUE con perdidas.				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
10%	1A MICRO	5.216	7,82	1,70	0,51	0,08	0,00	40.801	8.867	2.637	435	-	2.171	472	140	23	-	217	94	126	22	-
14%	1C MICRO	6.328	4,81	1,54	0,51	0,22	0,01	30.410	9.773	3.226	1.371	70	1.618	520	172	73	4	162	104	154	69	4
12%	PROMEDIO																	189	99	140	46	2
14%	1D GOTERO	14.063	4,49	5,36	1,90	1,38	1,16	63.127	75.315	26.681	19.467	16.290	3.358	4.007	1.419	1.036	867	336	801	1.277	984	823
								-	-	-	-	-	PORCENTAJE DE PERDIDAS					10%	20%	90%	95%	95%

Fuente: Conde y Peñaloza. (2020).

En la tabla se observa la producción por tratamiento en kg Pkg ,

Se trabajan los parámetros establecidos: Índice de mazorca: $Im = 38$ granos/mazorca

Índice de grano: $Ig=1,4$ gr grano seco.

$$Pkg = \text{Promedio por estadio} * T(\text{estadio} * \# \text{ plantas bloque}) * Im$$

Tabla 11. Promedios de la producción por toneladas de cacao en la Hacienda Maquencal.

Tratamiento	Estadio				
	1	2	3	4	5
Fertirriego goteo	0,3	0,8	1,3	1,0	0,8
Fertirriego Microaspersión	0,19	0,10	0,14	0,05	0,00

Fuente: Conde y Peñaloza. (2020).

Esta tabla se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$P_{ton} = \frac{P_{kg} * \% \text{ perdida (estadio)}}{1000}$$

P_{ton} = Producción por toneladas (Tabla 9)

P_{kg} = Producción por kilogramos de cacao. (Tabla 9)

% Perdidas (estadio) fue determinado por Conde (2020). En la Hacienda Maquencal debido al seguimiento de la proyección de producción tras ciclos en los bloques estudiados.

% Perdidas= Estadio 1= 90% Estadio 2= 80% Estadio 3=10% Estadio 4 y 5= 5%.

La clasificación de estadios se siguió mediante los determinados en la Hacienda como se muestra en la (Tabla 2) del Capítulo 2 de este documento.

Capítulo 4.

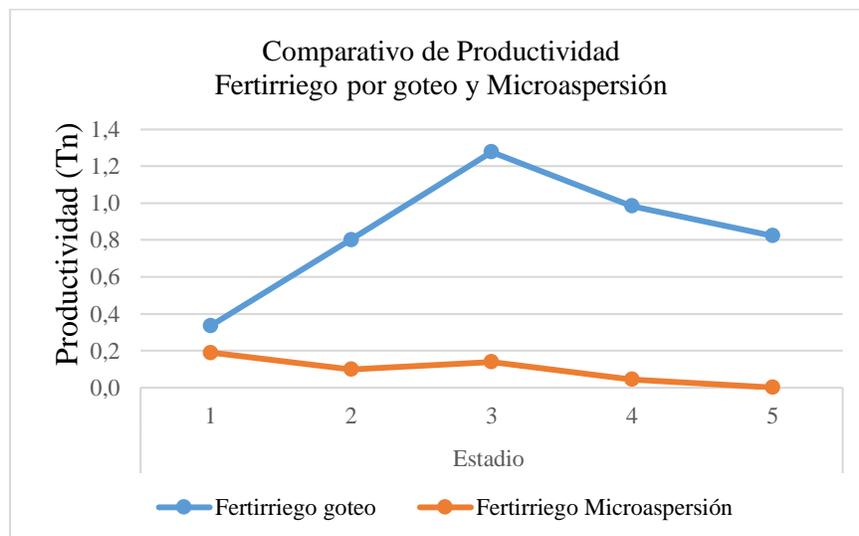
4.1 Resultados y discusión

El estudio radicular dio como resultado promedio de 7 a 9 raíces secundarias por planta entre los dos sistemas manejados, con profundidad menor o igual a 20 cm, de la raíz secundaria tomada referenciada con estacas en la medición semanal se determinó el comportamiento radicular midiendo la longitud del desarrollo radicular y el número de cada sistema variando.

La textura de los suelos no en todos los bloques es Franco arenosa con variabilidad de porcentajes de Arena, limo y arcilla; aun siendo menor en los bloques con microaspersión.

La productividad en el sistema de fertirriego por goteo fue mayor a comparación del sistema por microaspersión como se observa en la gráfica 3.

Grafica 3. *Comparativa productividad en sistema de fertirriego por goteo y fertirriego por microaspersión. Hacienda Maquencal.*

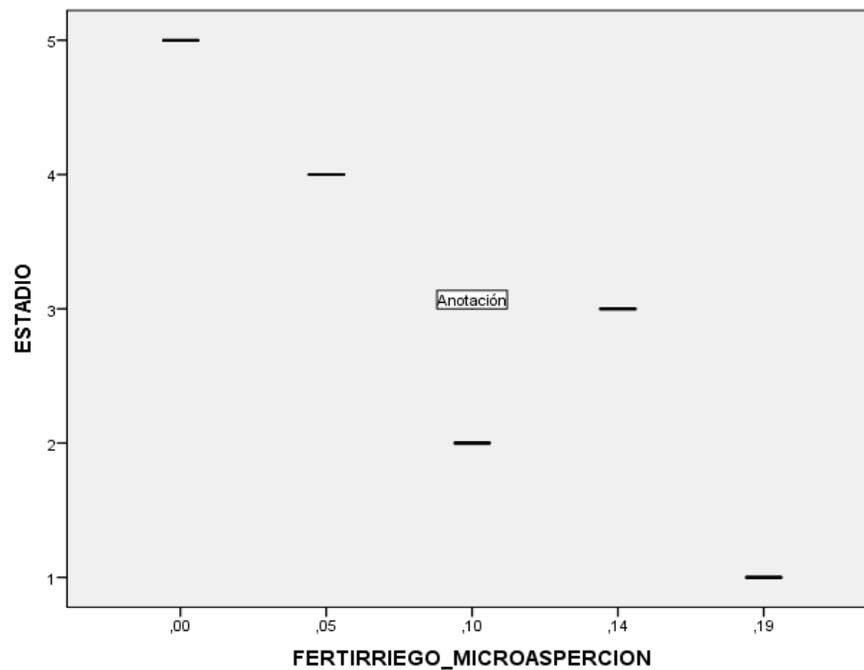


Fuente. Propia (2020).

La gráfica indico que el sistema de riego por microaspersión posee menos productividad lo cual se comparte la respuesta de Romero y Proaño en el año 2008, donde expone que la relación de láminas de agua con la producción en sistema de gotero es de 80 % de humedad efectiva con % bueno de aire agua en el suelo a disposición de las raíces exploradoras, y un 60 % de microaspersor.

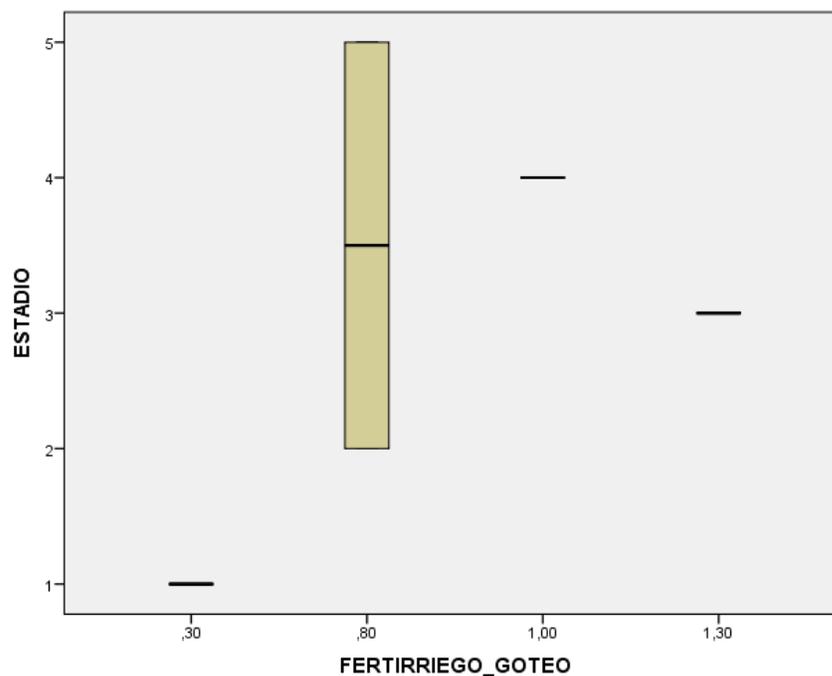
4.1.2 Diagrama de caja relación de Productividad Ton/ estadio.

Grafica 4. *Dispersión de productividad por estadio. Fertirriego por microaspersión.*



Fuente: Propia (2020).

Grafica 5. *Dispersión de productividad por estadio. Fertirriego por goteo.*



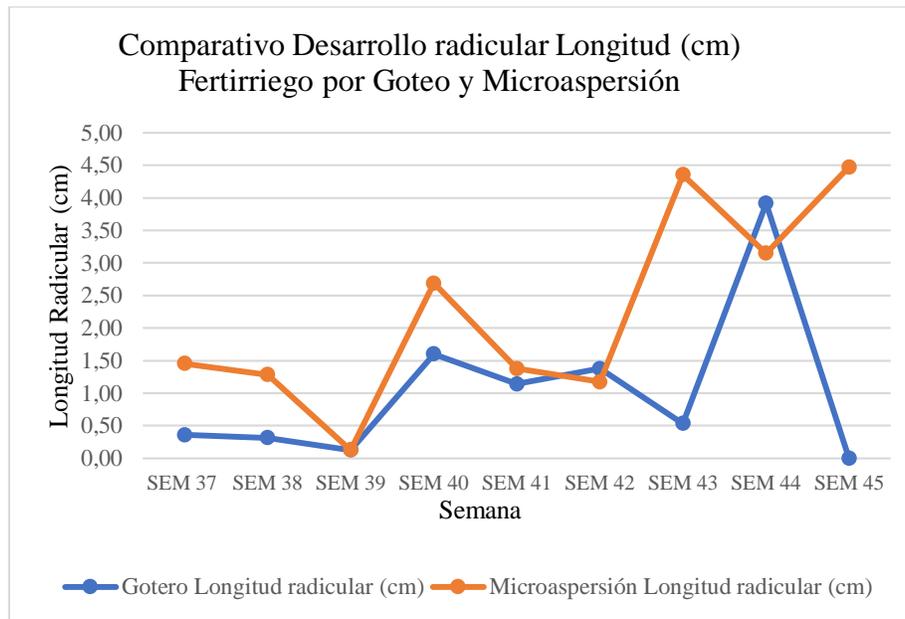
Fuente: Propia (2020).

El Fertirriego por gotero es más eficiente, se observó un crecimiento por estadios y una repetición en 0,80 Ton en el segundo estadio y el 5 lo cual se puede afirmar que mediante este sistema hay menos muerte de los estadios y más homogeneidad en la producción y menos porcentaje de pérdida.

Una causa de la diferencia entre sistemas es que el microaspersor deja el agua y los nutrimentos sobre la superficie y se evapora más rápido, contrario a gotero donde está directamente en el sistema radicular donde la planta lo necesita por eso el fertirriego por goteo es mejor asimilable para la planta.

Análisis de comparación de las variables dependientes con los dos independientes.

Grafica 6. Comparativa longitud radicular en sistema de fertirriego por goteo y fertirriego por microaspersión. Hacienda Maquencal.

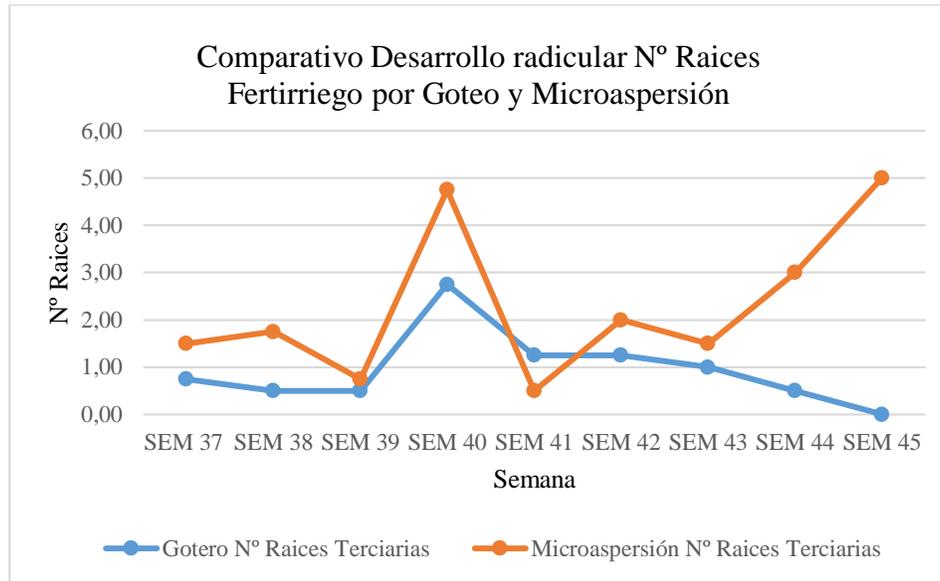


Fuente: Propia (2020).

La comparación en longitud radicular indico una diferencia significativa en los sistemas de fertirriego; es mayor la elongación de las raíces terciarias con el sistema de microaspersión durante la semana 40 y 41 realizado el fertirriego y se evidencio una activación del crecimiento en los dos sistemas, mientras que después del fertirriego en las semanas 40 y 41 el sistema con microaspersión sigue su crecimiento y el goteo lo detiene.

Análisis de comparación del Numero de raíces con las dos variables independientes.

Grafica 7. Comparativo del Numero de Raíces en sistema de fertirriego por goteo y fertirriego por microaspersión. Hacienda Maquencal.



Fuente: Propia (2020).

En esta grafica se evidencia mayor el número de elongación de raíces en fertirriego por microaspersión y menor en Gotero; en la semana 40 corresponde a la aplicación del Fertirriego y se puede observar como el sistema de microaspersión en larga en promedio 4 raíces nuevas, pero se oxidan a la semana siguiente quedando promedio de menos de 1 en la semana 42 vuelve y reporta nuevas es decir el efecto que genera el microaspersor es a inducir que salgan nuevas raíces. Contrario en gotero se mantiene el mismo número de raíces es decir pueden nacer menos que en microaspersión.

El efecto de que el microaspersor genere más número de raíces es debido a que distribuye más el agua en el suelo y no se mantiene en una sola lamina homogénea de humedad.

4.1.3 Discusión de resultados.

En el análisis de las variables independiente (fertirriego por microaspersión y fertirriego por goteo) vs las variables dependientes relacionadas entre sí con el número de raíces, la longitud y la productividad genera un dato muy interesante.

El análisis de productividad como se realizó en la gráfica 3 da como resultado que el sistema por gotero genera mayor productividad, pero si vemos el análisis de desarrollo radicular nos da mayor número de raíces y de longitud en el sistema por microaspersión. Entonces al realizar la evaluación es considerable que el sistema de goteo es más eficiente que el de microaspersión en esos bloques evaluados por que cuando el sistema de riego por microgotero mantiene la longitud radicular y el número de raíces mantiene la energía para la producción, y mantiene un suelo con los % de aire y agua adecuados para translocar los nutrientes. En cambio, con el microaspersor activa mayor desarrollo radicular, pero se evapora rápido el fertilizante, se pierde y la planta busca regular su necesidad abortando la producción.

4.1.4 Análisis estadístico descriptivo Sistema de microaspersión.

Tabla 12. Análisis estadístico descriptivo sistema de microaspersión.

Estadísticos descriptivos				
	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
SEMANAS	37	45		
LONGITUD_RAIZ	,00	4,47	1,6361	1,46732
NUMERO_RAIZ	,00	5,00	1,6250	1,42264

Nota: La grafica describe los valores máximos del desarrollo radicular obtenido con fertirriego por microaspersión. Fuente: Propio (2020).

Conclusiones

- Con el estudio realizado, del comportamiento radicular se observó que el sistema por goteo influyó en un menor número de raíces terciarias con un total de 2,75 raíces/planta como dato máximo a diferencia del sistema de micro aspersión el número de raíces se duplicó 5 raíces/planta. La longitud radicular en el sistema por goteo también se logró determinar que las raíces tuvieron una menor longitud siendo esta de 3,91 cm como dato máximo mientras que para el sistema de microaspersión la longitud fue de 4.47 cm, como dato máximo. La medición de este parámetro nos llevó a dilucidar el comportamiento fisiológico de las raíces para los dos sistemas de fertirriego y su relación con la productividad de toneladas por hectárea para este cultivo teniendo en cuenta que se trabajó la misma textura del suelo franco arenosa y el mismo fertilizante.
- Se logró determinar que la productividad es más eficiente en el sistema de fertirriego por goteo debido a que se proyectó una producción de 1,3 Ton evaluadas que llegan a cosecha a comparación del sistema de fertirriego por microaspersión de 0,14 Ton evaluadas igualmente, obteniendo como diferencia de rendimiento en productividad 1,16 Ton/Ha, equivalente a 10,7% donde se pudo concluir que el sistema de fertirriego por goteo presenta un aprovechamiento eficiente del agua y de los fertilizantes, por el mejor contacto con el sistema radicular ocurriendo menor gasto energético en el desempeño de crecimiento y emisión raíces.

Recomendaciones

Se recomienda seguir la investigación evaluando el requerimiento hídrico del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) en cada etapa fisiológica, suministrando eficiente y oportunamente el agua al cultivo con el objetivo de incrementar las producciones y el uso eficiente del agua.

Evaluar el comportamiento de la evapotranspiración teniendo en cuenta las condiciones climáticas y relacionarlo con el requerimiento hídrico de cada etapa fenológica del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L).

Bibliografía

Alcaldía Municipal La Jagua Ibirico (2019). Recuperado de: <http://www.lajaguadeibirico-cesar.gov.co/>

Anecacao. (sf). Riego y drenaje. Sitio Web. Tomado de:

<http://www.anecacao.com/index.php/es/servicios/articulos-tecnicos/riego-y-drenaje.html>

Arango, A. M. (2019). Sistema de Riego Automatizado por Micro. Recuperado de:

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/16271/3/Hern%C3%A1ndezArangoAngelaMar%C3%ADa2019.pdf>

Arciniegas L.,A. (2005). Caracterización de árboles superiores de cacao (*Theobroma cacao* L). Seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE. CATIE.

Cacaoteros, F. N. (2018). El agua, clave para el desarrollo del cacao. Recuperado de:

<http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/585-el-agua-clave-para-el-desarrollo-del-cacao>

Colombia, U. N. (2014). Sistema de producción de cacao en Colombia.

FAO. (2010). Cacao operaciones y poscosecha . *CACAO*, 4-78. CACAO: Operaciones

Poscosecha. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-au995s.pdf>

IGAC. (2018). Estudio General de Suelos y Zonificación de tierras del Cesar . *Suelos del cesar al desnudo. Informe tomado de:* <https://www.igac.gov.co/es/noticias/suelos-del-cesar-al-desnudo>

López, M. P. (2011). Estudio Agromorfológico y fisicoquímico de ecotipos de cacao.

Phillips, W., Arciniegas, A., Mata, A., & Montamayor, C. (2012). *Catálogo de clones de cacao Turrialba, Costa Rica*

Romero, J., y Proaño, J. (2008). Evaluación del efecto del riego por goteo y microaspersión en la productividad del cacao (*Theobroma cacao*)-CCN 51 en un suelo *ustifluvent típico* en la zona Chongon península de Santa Elena provincia del Guayas.

Recuperado de: <https://studylib.es/doc/3431502/evaluaci%C3%B3n-del-efecto-del-riego-por-goteo-y-microaspersi%C3%B3n...>

Ramoz, F. (2014). EL SISTEMA DE PRODUCCION DE CACAO EN COLOMBIA .

Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/59141/1/1032373448-2017.pdf>

Salomón, Q. F. (2011). Perfil del Sabor del Clon CCN51 del Cacao. 1-14. Recuperado de:

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/594>

Anexos

Anexo 1. Determinación de elementos disponibles en el suelo.

Muy Bajo	MB
Bajo	B
Medio	
Alto	A
EXC ALTO	EXC - A

SUELO/DISPONIBLE	Suelo (análisis)	Suelo disponible (análisis)	Calificación	Diferencia (Kg/Ha) (del análisis-requerimientos)	Kte (Bases)	Requerimiento (Bases)	Foliar	Calificación
BLOQUE	1A							
pH	5,3		Fuertemente ácido					
meq/100 g CE	0,1		MB					
% M.O	1		MB					
Kg/Ha N	1000		EXC - A	-530	0,22	-117	1,01	A
meq/100 g CICE	3,2		MB					
TEXTURA	ARC	16	FRANCO ARENOSO					
	AREN	56						
	LIMO	28						
Kg/Ha P	97,5		EXC - A	-43,5	0,44	-19	0,34	M
Kg/Ha S	3,5		MB	43,5	0,33	14	0,19	A
Kg/Ha	K	166	MB	579	0,83	481	0,64	B
	Ca	1102	EXC - A	-766	0,71	-544	1,32	EXC - A
	Mg	183	A	-68	0,6	-41	0,18	M
	Na	--						
Kg/Ha Al	0							
Kg/Ha	Fe	150					143	EXC - A
	Mn	20	EXC - A	-13,8	1,66	-22,9	118	MB
	Cu	17,5					5	B
	Zn	10	EXC - A	-8,3		-8	20	MB
	B	0,25	MB	1,53		2	26	MB
acion de Ba	Ca/Mg	4	Bien					
	Ca/K	13,4	Ideal					
	Mg/K	3,4	Def Mg					
	(Ca+Mg)/K	16,7	Ideal					

Fuente: Restrepo (2020).

Anexo 2. Determinación de elementos disponibles en el suelo.

Muy Bajo	MB
Bajo	B
Medio	
Alto	A
EXC	
ALTO	EXC - A

SUELO/DISPONIBLE		Suelo (análisis)	Suelo disponible (análisis)	Calificación	Diferencia (Kg/Ha) (del análisis-requerimientos)	Kte (Bases)	Requerimiento (Bases)	Foliar	Calificación
BLOQUE					1C				
pH		4,8		Moderada mente Acido					
meq/100 g	CE	0,1		MB					
%	M.O	0,6		MB					
Kg/Ha	N	600		EXC - A	-271	0,22	-60	2,94	A
meq/100 g	CICE	2,7		MB					
TEXTURA	ARC	6		FRANCO ARENOSO					
	AREN	74							
	LIMO	20							
Kg/Ha	P	22,5		B	15,3	0,44	7	0,46	M
	S	5		MB	27,9	0,33	9	0,23	A
Kg/Ha	K	147		MB	374,5	0,83	311	0,98	B
	Ca	651		EXC - A	-415,8	0,71	-295	2,46	EXC - A
	Mg	122		A	-41,5	0,6	-25	0,47	M
	Na	--							
Kg/Ha	Al	0							
	Fe	223						273	EXC - A
	Mn	25		EXC - A	-20,66	1,66	-34,3	209	MB
	Cu	27,5						8	B
	Zn	12,5		EXC - A	-11,31		-11	30	MB
Relacion de Bases	B	0,25		B	1,00		1	30	MB
	Ca/Mg	3,5		Bien					
	Ca/K	8,8		Ideal					
	Mg/K	2,5		Def Mg					
	((Ca+Mg)/K)	11,4		Ideal					

Fuente: Restrepo (2020)

Anexo 3. Determinación de elementos disponibles en el suelo.

Muy Bajo	MB
Bajo	B
Medio	
Alto	A
EXC	
ALTO	EXC - A

SUELO/DISPONIBLE	Suelo (análisis)	Suelo disponible (análisis)	Calificación	Diferencia (Kg/Ha) (del análisis-requerimientos)	Kte (Bases)	Requerimiento (Bases)	Foliar	Calificación
BLOQUE	1D							
pH	4,9		Muy fuertemente ácido					
meq/100 g CE	0,1		MB					
% M.O	0,5		MB					
Kg/Ha N	500		A	-171	0,22	-38	2,52	A
meq/100 g CICE	9,4		MB					
TEXTURA	ARC	8						
	AREN	74						
	LIMO	18		FRANCO ARENOSO				
Kg/Ha P	95		A	-57,2	0,44	-25	0,51	M
	S	3,75	MB	29,15	0,33	10	0,18	A
Kg/Ha K	362		MB	159,5	0,83	132	0,78	B
	Ca	3808	EXC - A	-3572,8	0,71	-2537	1,63	EXC - A
	Mg	243	EXC - A	-162,5	0,6	-98	0,43	M
	Na	--						
Kg/Ha Al	0							
	Fe	205					285	EXC - A
	Mn	25	A	-20,66	1,66	-34,3	263	MB
	Cu	25					6	B
	Zn	12,5	EXC - A	-11,31		-11	37	MB
	B	0,5	B	1,00		1	31	MB
lacion de Bas	Ca/Mg	10,2	Bien					
	Ca/K	20,5	Ideal					
	Mg/K	2	Def Mg					
	((Ca+Mg)/K)	22,5	Ideal					

Fuente: Restrepo (2020)

Anexo 4. *Determinación Índice de Mazorca*



Fuente. Propia (2020).

Anexo 5. *Índice de grano y de mazorca. Maquencal.*



Fuente. Propia (2020)

Anexo 6. *Buen indicé de grano.*



Fuente: Propia (2020)

Anexo 7. *Cacao en secado- Hacienda Maquencal.*



Fuente: Propia (2020)

Anexo 8. *Elongación de raíces exploradoras. Hacienda Maquencal.*



Fuente: Propia (2020)

Anexo 8. *Asfixia del desarrollo radicular. Hacienda Maquencal.*



Fuente: Propia (2020).

Anexo 9. *Asfixia del desarrollo radicular. Hacienda Maquencal.*



Fuente: Propia (2020)

Anexo 10. *Estadio 5, cosecha. Hacienda Maquencal.*



Fuente: Propia (2020).

Anexo 11. *Determinación de estadios. Hacienda Maquencal.*



Fuente: Propia (2020).

Anexo 12. *Conteo de producción por estadios. Hacienda Maquencal.*



Fuente: Propia (2020).

Anexo 13. *Análisis de suelos para realizar el seguimiento de la nutrición. Hacienda Maquencal.*



Fuente. Propia (2020).

Anexo 14 *Determinación de profundidad de Raíz primaria y secundarias. Hacienda Maquencal.*



Fuente: Propia (2020).

Anexo 15. *Activación del cojinete floral. Hacienda Maquencal.*



Fuente: Propia (2020).

Anexo 16. *Pepinos evaluados de la Hacienda Maquencal.*



Fuente: Propia (2020).

Anexo 17. *Estadio 1, Evaluación Hacienda Maquencal.*



Fuente: propia (2020).

Anexo 18. *Estadio 2, Evaluado en la Hacienda Maquencal.*



Fuente: Propia (2020).

Anexo 19. *Estadio 3, Evaluado en la Hacienda Maquencal.*



Fuente: Propia (2020).

Anexo 20. *Estadio 4, Evaluado en la Hacienda Maquencal.*



Fuente: Propia (2020).

Anexo 21. *Estadio 5, Evaluado en la Hacienda Maquencal.*



Fuente: Propia (2020).

