
USO EFICIENTE DEL RIEGO POR SUPERFICIE EN LA PALMA DE ACEITE

CARLOS IVAN ARAGONEZ CARDOZO

**Trabajo de pasantía presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero Agrícola**

Director(es):

Ingeniero: Héctor Narváez

Profesor: Miguel Germán Cifuentes Perdomo

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA
OCTUBRE, 2012**

USO EFICIENTE DEL RIEGO POR SUPERFICIE EN LA PALMA DE ACEITE

CARLOS IVAN ARAGONEZ CARDOZO

Director(es):

Ingeniero: Héctor Narváez

Profesor: Miguel Germán Cifuentes Perdomo

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA
OCTUBRE, 2012**

Nota de Aceptación

Jaime Izquierdo Bautista
Firma del Jurado
Profesor

Rodrigo Pachón Bejarano
Firma del Jurado
Profesor

Miguel Germán Cifuentes P.
Director
Profesor

Neiva, Octubre de 2012

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

A Dios por ser mi guía, quien me brindo la sabiduría y fortaleza para alcanzar tan importante meta en mi vida.

A mis Padres Carlos Alipio Aragonez y Elvia Cardozo, por ser los más importantes en mi formación como persona, por su esfuerzo y colaboración incondicional.

A mis Abuelos Alipio Aragonez y Graciela Macias por su respaldo durante mi carrera.

A mi tía Yenny Aragones por su apoyo incondicional.

A Angélica Patricia Cardozo por su compañía, comprensión y apoyo incondicional.

A los maestros del programa de ingeniería agrícola por compartir sus conocimientos y gracias a ello lograr cumplir este logro.

A mis compañeros, Erika Ovalle, Ingrid Castaño, Elias Cardozo, John Fredy García, John Calderón, Faiber Soto, Jhony Gutiérrez y Raúl López, por amistad y compañía durante nuestra formación como ingenieros.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y la sabiduría.

Agradezco a mis Padres Carlos Alipio Aragonez y Elvia Cardozo, por su esfuerzo y dedicación.

A Angelica Patricia Cardozo por el apoyo, cariño y fuerzas para sacar este proyecto adelante.

Agradezco a grupo de trabajo de la empresa Palmas oleaginosas de Casacará Ltda., en cabeza del ingeniero de campo Jorge Luis Torres Ariza por acogerme en esta familia laboral y brindarme su apoyo para el desarrollo de la pasantía.

Agradezco al ingeniero Héctor Narváez por darme la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera.

CONTENIDO

	Pág.
1. RESUMEN	10
2. ABSTRACT	10
3. INTRODUCCIÓN	11
4. MARCO CONCEPTUAL	12
5. METODOLOGÍA	14
5.1. LOCALIZACIÓN	15
5.2. DESARROLLO METODOLÓGICO	16
5.2.1. RIEGO POR SURCOS ANCHOS RECTOS EN CALLE DE COSECHA	25
5.2.2. RIEGO POR SURCOS ANCHOS RECTOS EN CALLE DE PALERA	25
5.2.3. RIEGO POR INUNDACION	26
6. RESULTADOS	27
7. CONCLUSIONES	54
8. RECOMENDACIONES	54
9. BIBLIOGRAFIA	55

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.** Clasificación De La Velocidad De Infiltración
- Tabla 2.** Descripción De Tratamiento
- Tabla3.** Área Y Número De Palmas Por Parcela
- Tabla4.** Dosis De Fertilizante Aplicado
- Tabla 5.** Dosis De Productos Químicos Y Biológicos
- Tabla 6.** Caudal Máximo No Erosivo
- Tabla 7.** Gasto De Agua Por Hectárea.
- Tabla 8.** Datos de cosecha por tratamiento.
- Tabla 9.** Datos pruebas de infiltración tratamiento 2-1A
- Tabla10.** Datos pruebas de infiltración tratamiento 2-B
- Tabla 11.** Datos pruebas de infiltración tratamiento 1-2
- Tabla 12.** Datos pruebas de infiltración tratamiento 2-2
- Tabla 13.** Tiempos de avance, tratamiento 2-1. Caudal 1.44 LPS
- Tabla 14.** Tiempos de avance, tratamiento 2-1. Caudal 2.0 LPS
- Tabla 15.** Tiempos de avance, tratamiento 2-1. Caudal 2.5 LPS
- Tabla 16.** Resumen de cálculos y ecuaciones.
- Tabla 17.** Precipitación diaria estación quinta.
- Tabla 18.** Precipitación diaria estación Fabrica
- Tabla 19.** Precipitación mensual estación quinta
- Tabla 20.** Precipitación mensual estación fabrica
- Tabla 21.** Evapotranspiración palmas Montecarmelo SA.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Localización General
- Figura 2** Localización Google Earth
- Figura 3** Localización de Lotes de Ensayo
- Figura 4** Riego Por Surcos Anchos en Calle de Cosecha
- Figura 5** Riego Por Surcos Anchos En Calle De Palera
- Figura 6** Riego Por Inundación
- Figura 7** Lote con Maleza Alta
- Figura 8** Corta Maleza
- Figura 9** Calle de Palera con Raquis
- Figura 10** Raquis y Hoja en Calle de Palera
- Figura 11** Construcción Camellón
- Figura 12** Canal Regador
- Figura 13** Rastra
- Figura 14** Taipa
- Figura 15** Pase de Cosecha
- Figura 16** Construcción Pase de Cosecha
- Figura 18** Anillo Infiltrómetro
- Figura 17** Regla Graduada
- Figura 19** Prueba de Avance Calle Cosecha
- Figura 20** Prueba de Avance Calle Palera
- Figura 21** Surcos Calle de Palera
- Figura 22** Disposición de Hoja Surcos Calle Palera
- Figura 23** Riego por surcos Calle de Cosecha2
- Figura 24** Riego por Surcos en Calle de Cosecha1
- Figura 25** Riego Tradicional
- Figura 26** Parcela de Riego Tradicional
- Figura 27** Zorro de Transporte

- Figura 28** Carro Búfalo
- Figura 29** Tablero Digital
- Figura 30** Báscula Industrial
- Figura 31** Peso Promedio Por Hectárea
- Figura 32** Peso Medio Por Tratamiento
- Figura 33** Infiltración Instantánea Tratamiento 2-1
- Figura 34** Infiltración Acumulada Tratamiento 2-1
- Figura 35** Infiltración Instantánea Tratamiento 2-1
- Figura 36** Infiltración Acumulada tratamiento 2-1
- Figura 37** Infiltración Instantánea Tratamiento 2-1
- Figura 38** Infiltración Acumulada Tratamiento 2-1
- Figura 39** Infiltración Instantánea Tratamiento 2-2
- Figura 40** Infiltración Acumulada Tratamiento 2-2
- Figura 41** Tiempos de Avance 1.44 lps
- Figura 42** Tiempos de Avance Caudal 2.0 lps
- Figura 43** Tiempo de avance caudal 2.5

1. Resumen

Cenipalma con su área de investigación llevó a cabo un experimento entre los años 2004 y 2007, en el cual se regaron diferentes porcentajes del área (100%, 50%, 25%) del suelo superficial en una plantación de palma africana conduciendo el agua a través de melgas rectangulares, encontrando que no existen diferencias estadísticamente significativas en producción de racimos de fruta fresca; pero si en el volumen de agua utilizado por evento de riego. El área de transferencia de resultados de investigación pretende replicar su modelo a una mayor escala. Para ello ha establecido un convenio con la plantación Palmas Oleaginosas de Casacará, en donde se evalúan tres tipos de riegos con un diseño experimental que corresponde a bloques completos al azar con 3 repeticiones y 3 tratamientos: por surcos anchos rectos en calle de cosecha, por surcos anchos rectos en calle de palera y el riego por inundación en un área de 38.52 hectáreas durante un periodo de tres años. Se aplicó la fertilización balanceada de acuerdo con los resultados de análisis de suelo y foliar; de tal forma que, la nutrición del cultivo no sea un factor de variación. Se concluyó que la lámina teórica de agua a aplicar por hectárea en el riego por surcos era de 354.6 m³ con una superficie humedecida directa del 30%. En campo había zonas en donde el flujo de agua estaba por debajo de este valor posiblemente por el grado de compactación del suelo que ayudado con la pendiente del terreno hacia que el gasto de agua fuera menor, entretanto en el tratamiento por inundación se obtuvieron valores por encima de los 1000 m³ humedeciéndose el área completa.

Palabras Claves: Surcos, Palma, compactación.

2. Abstract

Cenipalma with their research area carried out an experiment between 2004 and 2007, in which different percentages of the area were irrigated (100%, 50%, 25%) of the surface soil in an oil palm plantation conducting to water through rectangular furrows, finding that there are no statistically significant differences in production of fresh fruit bunches, but if the volume of water used for irrigation event. The results transfer area of research aims to replicate its model on a larger scale. It has established an agreement with the Oil Palm plantation of Casacará, where three types of irrigations evaluated with an experimental design that corresponds to a randomized complete block with 3 replications and 3 treatments: by furrows straight in street widths harvest, by furrows straight in street widths foliar residues and flood irrigation in an area of 38.52 hectares for a period of three years. And where balanced fertilization was applied according to the results of foliar and soil analysis, so that crop nutrition is not a factor of variation. It was concluded that the theoretical lámina of water applied per hectare in furrow irrigation was 354.6 m³ with a direct wetted 30%. But there field areas where the water flow was below this value possibly the soil compaction degree that helped to slope towards the water consumption is lower, in the meantime, in the flooding treatment were obtained by values above 1000 m³ wetting the entire area.

Palabras Claves: grooves, Palm, compaction.

3. INTRODUCCION

El aumento en Colombia del área sembrada con palma africana de aceite (*Elaeis guineensis Jacq.*), sumado a las necesidades de riego presentes en algunas zonas y al uso inadecuado del agua, han generado preocupación a los palmicultores por el constante estrés hídrico al que someten la plantación.

El sistema de riego por inundación es el más utilizado en el cultivo de palma de aceite, produciendo mayores pérdidas de agua y requiriendo grandes cantidades del recurso hídrico para su operación.

Cenipalma con su área de investigación llevó a cabo un experimento entre los años 2004 y 2007, en el cual se regaron diferentes porcentajes del área (100%, 50%, 25%) del suelo superficial conduciendo el agua a través de melgas rectangulares. Al cabo de tres años de seguimiento se encontró que no existen diferencias estadísticas significativas en producción de racimos de fruta fresca, pero si en el volumen de agua utilizado por evento de riego.

Cenipalma con su área de transferencia de tecnología pretende llevar al palmicultor el resultado de su investigación, validando su experimento en parcelas de mayor tamaño y así expandir a escala su desarrollo tecnológico.

A partir de los resultados mencionados anteriormente se implementará una parcela piloto en la plantación palmas oleaginosas de Casacará Ltda. Con el fin de validar las economías de agua cuando se humedece parcialmente el suelo superficial mediante el uso de surcos rectos.

4. MARCO CONCEPTUAL

El riego por surcos, es el método de riego por superficie o gravedad más usado en el mundo. Sin embargo, su uso es ineficiente por el desconocimiento de los técnicos y regadores de cuanta agua debe aplicar o como determinar el momento en que se ha aplicado el agua que se desea.

Suponiendo que un caudal constante está entrando en un surco, se pueden hacer medidas del tiempo que tardó el frente de avance del agua de un punto a otro del surco. Con estos datos puede hacerse una curva, dibujando puntos de distancia, entre el surco contra el tiempo. Inicialmente, el agua avanza rápidamente en el surco; pero como parte del caudal inicial va penetrando en el suelo por la infiltración, el caudal va disminuyendo a medida que el caudal avanza por el surco. El resultado, es que la velocidad de avance va siendo cada vez menor, lo cual se refleja en la forma de la curva de avance.

Un caudal dado en un suelo con velocidad de infiltración baja tendrá un avance rápido. Lógicamente esto se debe a que relativamente penetra menos agua al suelo. Se sabe que la velocidad de infiltración cambia en un mismo suelo, durante el periodo vegetativo, debido a la compactación por el efecto de las lluvias, peso de maquinas, secado y humedecimientos alternados, etc. (Avella, 1992)¹.

Cenipalma llevó a cabo un experimento entre el 2004 y 2007, en el cual se regaron diferentes porcentajes del área del suelo superficial conduciendo el agua a través de melgas rectangulares. Al cabo de tres años de seguimiento se encontró que no existen diferencias estadísticas significativas en producción de racimos de fruta fresca, los tratamientos fueron los siguientes: T1 humedecimiento del 100% del área, T2 humedecimiento del 50% del área y T3 humedecimiento del 25% del área. El volumen de agua utilizado por evento de riego para cada uno de los tratamientos fue de 1200 m³ha⁻¹, 1100 m³ha⁻¹ y 320 m³ha⁻¹ respectivamente. Existiendo un ahorro del 76% del volumen de agua normalmente utilizado con el sistema de riego por inundación. (Información sin publicar).

Según Grassi (1972)², la infiltración puede definirse como la tasa de penetración del agua en el perfil del suelo cuando la superficie de éste es cubierta con una lámina somera de agua.

Tabla 1. Clasificación de la velocidad de infiltración

Infiltración (cm/h)	Interpretación
<0.1	Muy Lenta
0.1 – 0.5	Lenta
0.5 – 2.0	Moderadamente Lenta
2.0 – 6.3	Moderada
6.3 – 12.7	Moderadamente Rápida
12.7 – 25.4	Rápida
>25.4	Muy Rápida

Fuente: Física de suelos. IGAC. 1990

¹ Avella, A. (1992). evaluación y manejo del riego por surcos. Colombia. Pág. 110

² Grassi (1972). Referenciado por Tafur, H. (1992). Evaluación del riego por surcos.

El proceso de infiltración ha sido descrito mediante diferentes expresiones matemáticas. Una de estas expresiones es la propuesta por Kostiakov.

$$I = KT^n$$

Donde:

I: velocidad de infiltración en el tiempo T

K: constante que representa la velocidad de infiltración cuando T=1

n= exponente que varía entre 0 y -1

Se ha discutido acerca de la “bondad” de la expresión de Kostiakov y se puede concluir que tiene validez utilizarla cuando el tiempo involucrado en el proceso no es muy largo.

Para las condiciones en que se maneja el riego en Colombia (tiempos relativamente cortos para el proceso) se obtienen resultados confiables (Tafur, 1992)³.

La palma de aceite transpira de 5-6 mm de agua por día durante el año. Se requiere suministro continuo de humedad del suelo para mantener las funciones fisiológicas en el tejido de la palma y para el transporte de los nutrientes y sustancias asimiladas dentro de la palma. De este modo un suministro adecuado de agua lluvia es tal vez el factor climático más importante que afecta el crecimiento y desarrollo de la palma. La palma de aceite se adapta a periodos de sequia por el cierre de los estomas al medio día, la apertura retrasada de hojas y una producción reducida de racimos (Ng,1972). Un estrés hídrico prolongado debido a la sequia, da como resultado una disminución de la producción de sexos (es decir la relación flores femeninas: total de flores), que a su vez causa una disminución del rendimiento 19 – 22 meses más tarde (Breure, esta publicación). Una sequia muy grave puede dar como resultado el aborto de las flores femeninas. Se requiere también una provisión adecuada de humedad durante la maduración del fruto y para la formación de racimos con una alta relación aceite: racimo. El patrón ideal de la lluvia es de 2000 a 3500 mm por año, distribuidos uniformemente, durante el año, con un mínimo de 100 mm por mes (Paramanathan, et.al. 2012)⁴.

Los principales síntomas visibles de estrés por sequia en palma de aceite (en orden de gravedad creciente) son:

- Acumulación de hojas no abiertas
- Prematura desecación de los bordes de los folíolos en las hojas inferiores
- Hojas verdes rotas
- Desecación de los racimos (que da como resultado abortos)
- Colapso de la copa
- Muerte de la palma

El sistema radical de la palma de aceite se expande a partir de un bulbo ubicado debajo del tallo. Ahí se producen las raíces primarias que dan origen a las secundarias, terciarias y cuaternarias, con las cuales se ancla la planta y absorbe del suelo agua y nutrientes. Las raíces son relativamente superficiales; se concentran

³ Tafur, H. (1992). Evaluación del riego por surcos. Pág. 5

⁴ Paramanathan, S. (2012). Palma De Aceite Manejo Para Rendimientos Altos Y Sostenibles. Referenciado por Fairhurst, T. et. al. Selección de tierras para la palma de aceite. Pág. 47

básicamente en los primeros 50 centímetros de la capa superior del suelo (Arias, et al. 2009)⁵.

Se conoce que las raíces de la palma recorren grandes distancias, Lambourne (1935)⁶ rastreó raíces primarias de palmas adultas hasta 21 m de la base de la palma.

En cuanto a la forma de recolección de la cosecha del fruto de la palma de aceite en ocasiones se emplean cables vía o lo hacen utilizando búfalos a los que se les unen una carreta. Los búfalos de agua son capaces de generar energía de tracción de hasta un 15% de su peso corporal y pueden empujar carros de dos y hasta cuatro ruedas con una capacidad para transportar racimos de 1.0 – 1.5 t (Dahlan, 1997)⁷.

⁵ Arias, N. (2009). Principios Agronómicos Para El Establecimiento De Una Plantación De Palma De Aceite. Cenipalma. Pág. 21.

⁶ Lambourne, 1935. Referenciado por Siewkee, Ng et, al. 2012. Aspectos Botánicos De La Palma De Aceite Pertinentes Al Manejo Del Cultivo.

⁷ Dahlan, 1997. Referenciado por Ditschar, b. et al. La Palma De Aceite En América Central Y América Del Sur. Pág. 25.

5. METODOLOGÍA

5.1 Localización

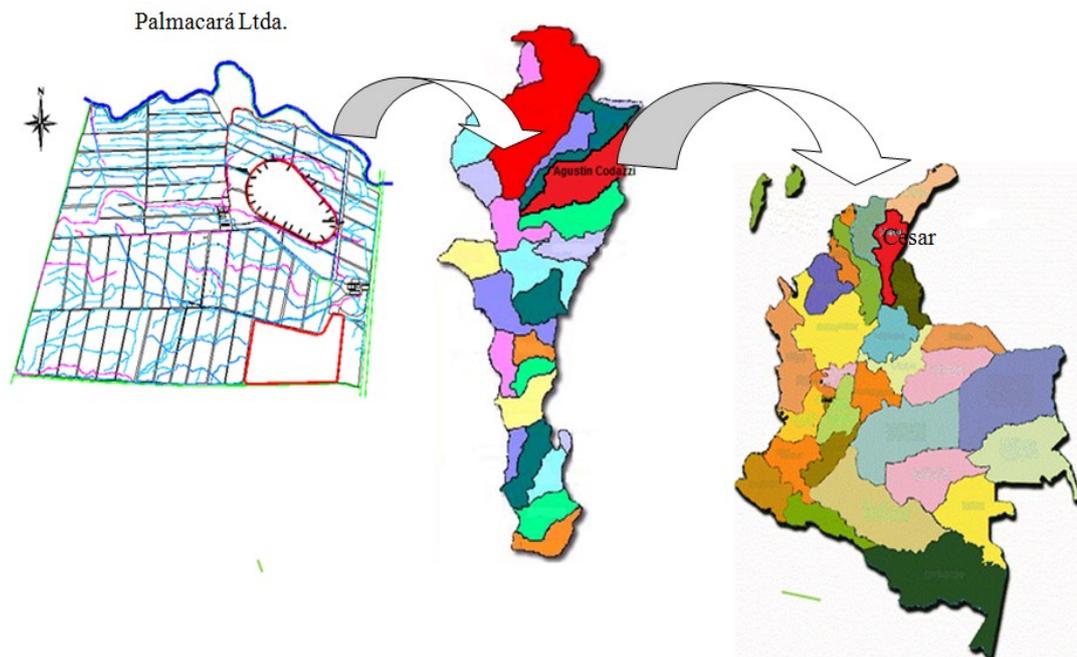


Figura 1 Localización General

El municipio de Agustín Codazzi, se localiza entre los 10° 02' de latitud Norte y 73° 14' de longitud al oeste de Greenwich, en el norte del departamento del Cesar, quien pertenece a la región atlántica de la república de Colombia. Se encuentra a una distancia de 60 kilómetros hacia el sur de la capital del departamento (Valledupar).

El ensayo de validación se realiza en la finca Palmarcará Ltda. – Km 17 Vía Agustín Codazzi - Bucaramanga perteneciente a la empresa Palmas oleaginosas de Casacará Ltda.

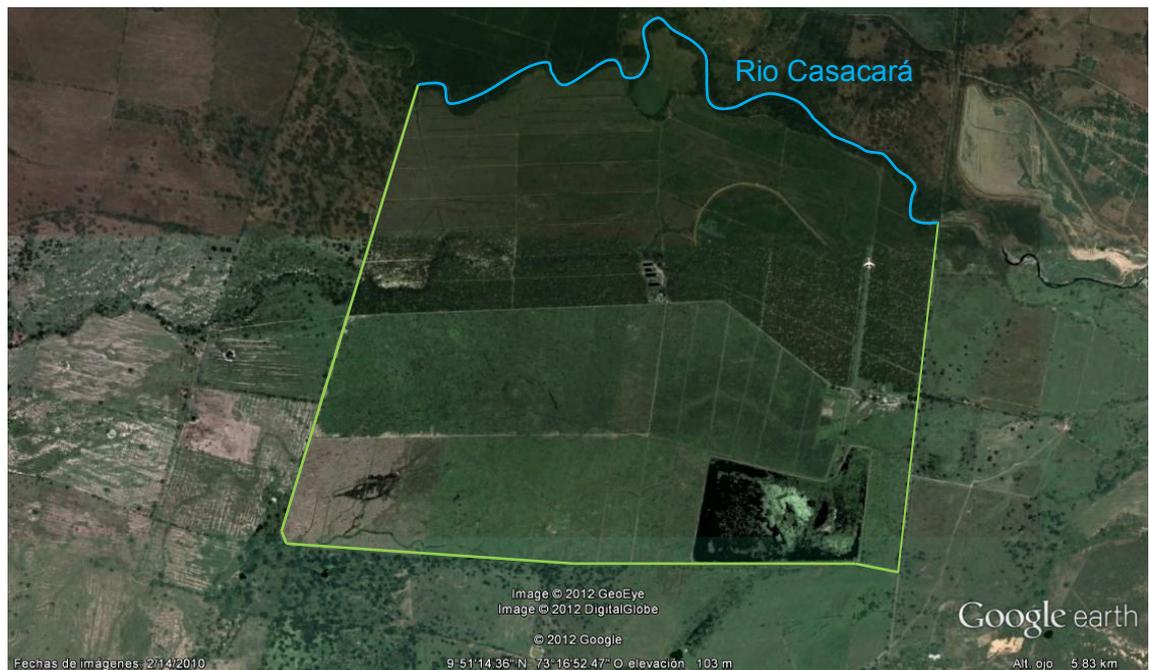


Figura 2 Localización Google Earth

Palmacará LTDA. Cuenta con aproximadamente 800 hectáreas de las cuales 720 están sembradas con palma y las restantes las ocupan dos reservorios de 30 y 50 hectáreas cada uno. La plantación está dividida en 62 lotes agrupados en cuatro grupos A, B, C y D, según la edad de siembra.

5.2 DESARROLLO METODOLÓGICO

Cenipalma con su programa de transferencia de resultados de investigación pretende Orientar las políticas de transferencia y de información sobre las innovaciones generadas, que permitan cerrar las brechas de competitividad de los palmicultores Colombianos.

A partir del experimento realizado entre el 2004 y 2007 en inversiones Padornelo S.A. Cenipalma ha querido replicar a una mayor escala el riego por surcos propuesto en dicha investigación. Para ello el proyecto de validación de la tecnología fue diseñado para un tiempo de tres años, partiendo desde la construcción del sistema de riego, hasta determinar al final de la transferencia si la plantación ha sufrido una variación en la cosecha quien es la variable de respuesta.

El diseño experimental corresponderá a Bloques Completos al azar con 3 repeticiones y 3 tratamientos (riego tradicional, surcos anchos rectos en calle de palera, surcos anchos rectos en calle de cosecha), para una misma clase textural.

Tabla 2. Descripción de Tratamientos

Tratamiento	Descripción
T1	Riego Por Surcos Anchos Rectos En Calle De Cosecha
T2	Riego Por Surcos Anchos Rectos En Calle De Palera
T3	Riego por Inundación (tradicional)

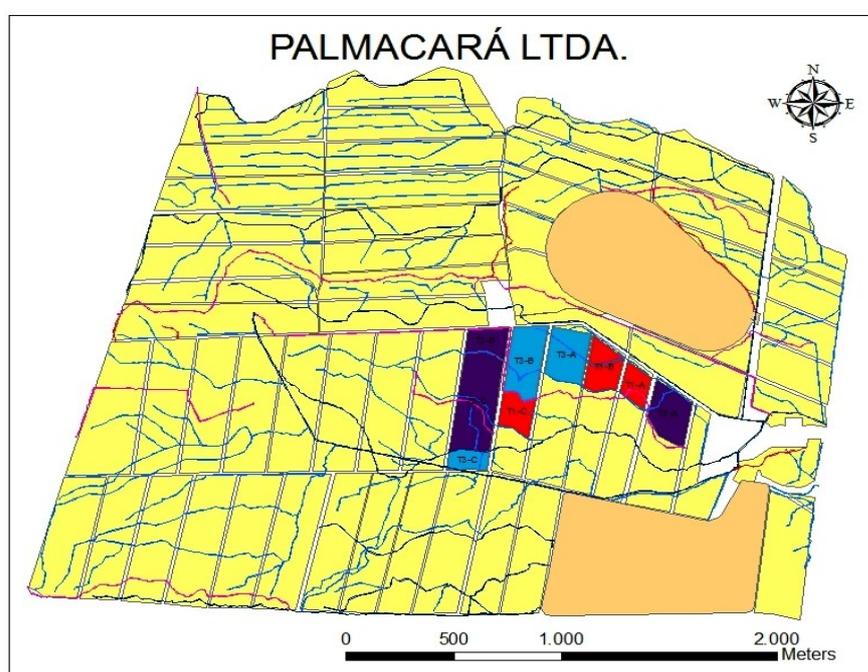


Figura 3 Localización de Lotes de Ensayo

- Riego por surcos anchos en calle de cosecha
- Riego por surcos anchos en calle de palera
- Riego por inundación

El área total del ensayo es de 38.52 hectáreas y está distribuido en parcelas en los lotes B4, B5, B6, B7 B8 y B9 de la plantación. En los lotes B5, B6, B8 se localiza el tratamiento 1, en los lotes B4 y B9 el tratamiento 2, y en los lotes B7, B8 y B9 el tratamiento 3. Con un total de 5508 palmas de siembra 2002.

El siguiente esquema muestra el tratamiento uno (T1), riego por surcos anchos rectos en calle de cosecha; en donde el búfalo junto con el fruto proveniente de la cosecha transita en la calle en que se aplica el riego directamente al suelo.

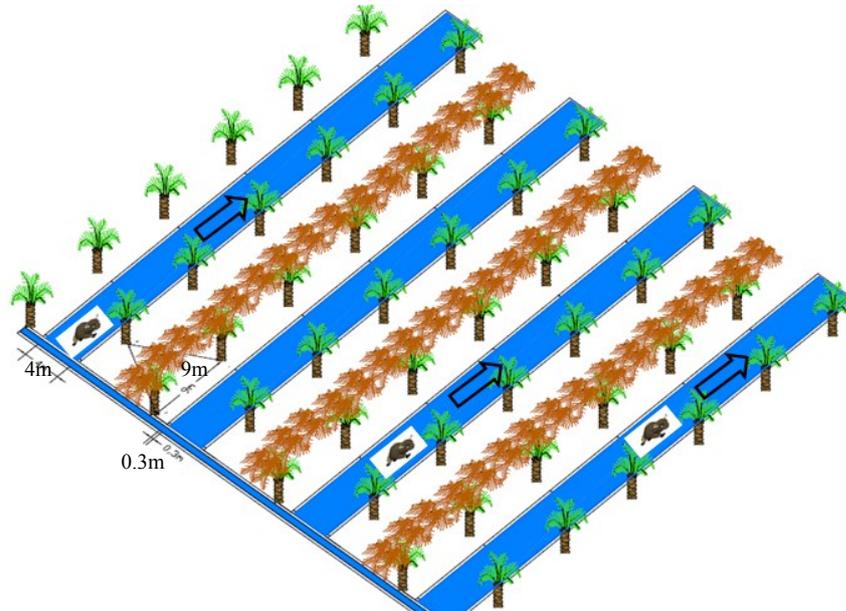


Figura 4 Riego Por Surcos Anchos en Calle de Cosecha

El siguiente esquema muestra el tratamiento dos (T2), riego por surcos anchos rectos en calle de palera; en donde el búfalo junto con el fruto proveniente de la cosecha transita en la calle libre, sin obstruir el riego, ni presentar dificultad por los residuos foliares.

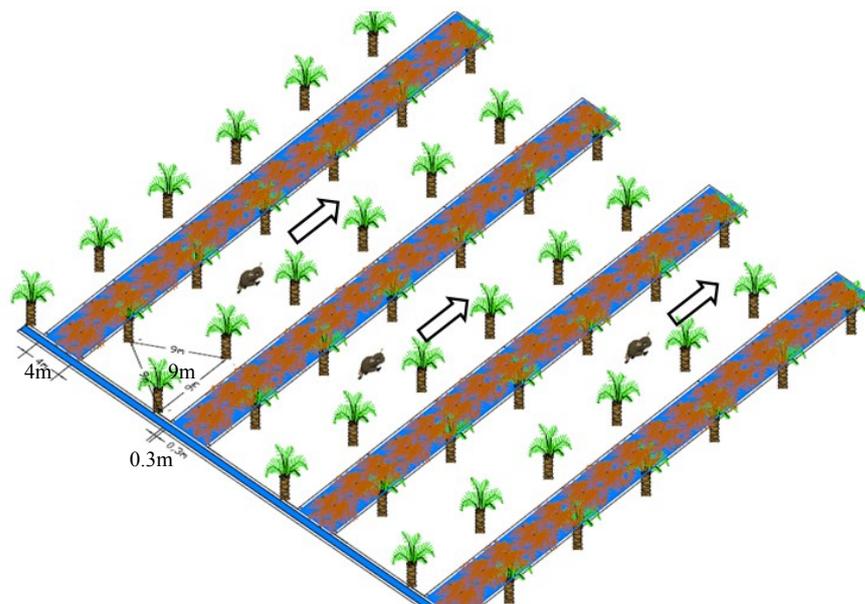


Figura 5 Riego Por Surcos Anchos En Calle De Palera

El siguiente esquema muestra el tratamiento tres (T3), riego por inundación (riego tradicional); en donde el búfalo junto con el fruto proveniente de la cosecha transita en la calle libre, pero la distribución del agua al aplicar el riego no es homogénea en la superficie del suelo.

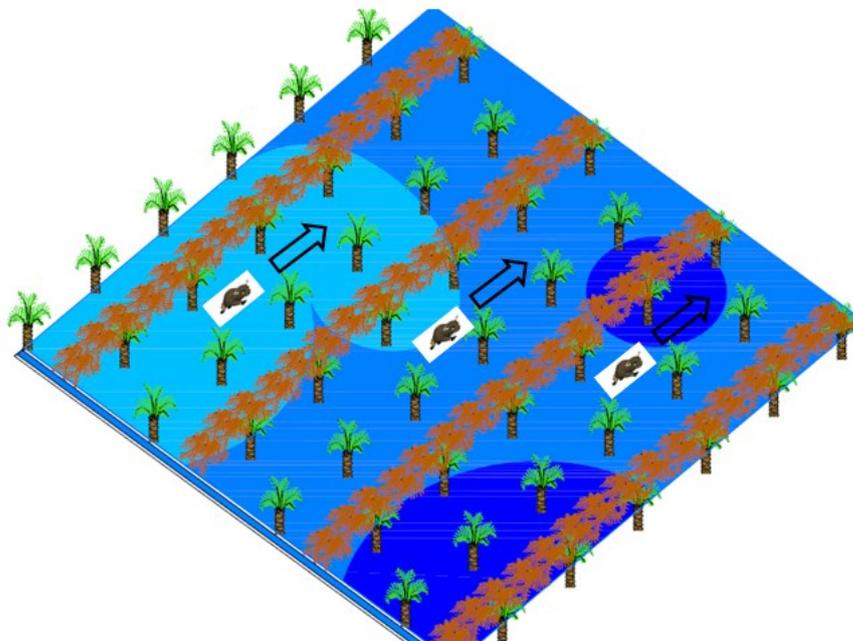


Figura 6 Riego Por Inundación

Tabla 3. Área Y Número De Palmas Por Parcela

TRATAMIENTO	AREA (has)	PALMAS
T1-1	1.25	178
T1-2	4.13	590
T1-3	2.81	402
T2-1	5.20	744
T2-2	2.55	364
T2-3	9.73	1392
T3-1	5	715
T3-2	5.88	841
T3-3	1.97	282
TOTAL	38.52	5508

En los tratamientos se aplicó la fertilización balanceada de acuerdo con los resultados de análisis de suelo y foliar; de tal forma que, la nutrición del cultivo no sea un factor de variación. Hasta la fecha se han aplicado dos ciclos de fertilizante.

Tabla 4. Dosis de Fertilizante Aplicado

LOTE	Sulfato de potasio (gr/palma)		Amidas (gr/palma)		Kiesersin (gr/palma)		Fertiboro (gr/palma)	
	ciclo 1	ciclo 2	ciclo 1	ciclo 2	ciclo 1	ciclo 2	ciclo 1	ciclo 2
B4	925	685	700	350	475	725	85	65
B5	925	875	700	600	475	595	85	65
B6	925	875	700	600	475	595	85	65
B7	925	905	500	710	450	670	85	65
B8	925	905	500	710	450	670	85	65
B9	925	1015	500	880	450	620	85	65

Para el control de chinche *Leptopharsa* y otros insectos inductores de pestalotiopsis se fueron necesarios dos ciclos de productos químicos y biológicos.

Tabla 5. Dosis de Productos Químicos y Biológicos

LOTE	Monocrotofofost (cm/palma)		Paecilomyces (gr/lote)	
	ciclo 1	ciclo 2	ciclo 1	ciclo 2
B4	15	15	15	15
B5	16	15	16	15
B6	17	15	17	15
B7	18	15	18	15
B8	19	15	19	15
B9	20	15	20	15

A fin de observar efectos de los tratamientos sobre la producción, se hará un seguimiento a la cosecha, contabilizando el número de racimos y su peso, también se evaluará la eficiencia del uso del agua, se determinaran los costos de implementación y mantenimiento para cada uno de los tratamientos evaluados. Adicionalmente, se determinará el caudal más adecuado para obtener la mayor eficiencia de aplicación; la evaluación de la cosecha se realizará junto con el ciclo de la plantación.

MATERIALES

Limpieza de lotes:

Cortamaleza o Rolo de cuchilla: se realizó para todos los tratamientos con el fin de hacer un control de la maleza.

Retroexcavadora Caterpillar 416 E: para el tratamiento 2 se hizo una limpieza de la tusa del racimo de la palma africana aplicada a los lotes como abono orgánico en forma no controlada, dicha tusa se genera como residuo de la fábrica extractora.



Figura 7 Lote con Maleza Alta



Figura 8 Corta Maleza



Figura 9 Calle de Palera con Raquis



Figura 10 Raquis y Hoja en Calle de Palera

Construcción de camellones de surcos y canales regadores:

Taipa y Rastra pequeña: se construyeron surcos y canales regadores con una ancho promedio de 4 metros y 80 cm respectivamente. Los camellones presentan una altura y un ancho promedio de 30 y 40 centímetros respectivamente; Para evitar pérdidas por escorrentía los surcos son cerrados. La taipa pesa aproximadamente una tonelada y se obtiene un rendimiento de 8 hectáreas por día haciendo dos pases por camellón.



Figura 12 Canal Regador



Figura 11 Construcción Camellón



Figura 13 Rastra



Figura 14 Taipa

Se construyeron pases de cosecha para evitar el daño del canal regador y no alterar los rendimientos de en el momento de la recolección del fruto. Se elaboraron con un tubo de 6 pulgadas de 3 metros de longitud y material de relleno.



Figura 16 Construcción Pase de Cosecha



Figura 15 Pase de Cosecha

Prueba de infiltración

Se elaboró un anillo infiltrómetro a partir de una tubería de hierro con dimensiones de 0.5 m de altura y 0.15 m de diámetro con dos agarraderas soldadas para facilitar su transporte. Se utilizó un solo anillo con el criterio de despreciar el efecto de borde que realiza el contacto del agua y el suelo. Además de utilizó una bolsa plástica y una regla graduada.

- Se escogió un sitio representativo del área a la cual se le determinó la infiltración.
- Se colocó el anillo infiltrómetro sobre la superficie del suelo y se colocó una regla graduada en el cilindro.
- Se colocó un plástico para cubrir el suelo como las paredes del anillo interior.
- Se agregó una lámina de agua al anillo entre 5 y 10 cm de altura.
- Seguidamente se procedió a retirar el plástico del anillo interior y se realizó la lectura inicial del nivel del agua con la regla, así como también la hora en que se realizó la lectura inicial y se registraron estos datos en el formato respectivo
- El nivel del agua en el anillo no debe dejarse llegar al fondo del suelo, para lo cual durante el proceso deberá adicionarse agua varias veces, anotando el tiempo correspondiente y el nuevo nivel, según se dé el caso.



Figura 18 Anillo Infiltrómetro



Figura 17 Regla Graduada

Cálculos: Con los datos obtenidos en el campo y aplicando regresión potencial a los datos anteriores, es decir tiempo vs velocidad de infiltración y siguiendo el modelo de Kostiakov, se determinaron los valores de la infiltración acumulada e instantánea, así:

$$i = kT^n$$

Donde:

i: velocidad de infiltración en el tiempo T

K: constante que representa la velocidad de infiltración cuando T=1

n= exponente que varía entre 0 y -1

Si se integra la velocidad de infiltración, se tiene:

$$I = \int_0^t i dt = \int_0^t kT^n dt = \frac{KT^{(n+1)}}{60 * (n + 1)}$$

I: es la lámina de agua que penetra al suelo durante el tiempo que está en contacto con él.

Donde 60 es un factor de conversión de unidades.

Cálculo de la infiltración básica:

$$Tb = -600n$$

Tb: tiempo básico

n: exponente de la ecuación de regresión potencial de la infiltración instantánea

Prueba de avance

Se utilizaron tuberías de 2, 3 y 4 pulgadas para facilitar la medición del caudal junto con una bolsa plástica y un recipiente aforado.

- Se escogieron surcos en un sitio representativo del área a los cuales se le determinó el tiempo de avance.
- Se colocaron estacas a cada 10 metros a partir de la cabecera del surco en una longitud de 100 metros
- Se colocó la tubería en la cabecera del surco sobre el canal regador, para tener facilidad en el momento de medir el volumen de ingreso.
- Seguidamente se procedió a ingresar el agua al surco y se realizó la lectura de la hora de inicio de la prueba, y el tiempo q tardaba en llegar el fluido a cada estaca. Se registraron estos datos en el formato respectivo.
- Para medir el volumen de entrada al surco se utilizó una bolsa plástica, un cronómetro y un recipiente aforado.
- Se observó la altura promedio del agua y el tiempo de retención.



Figura 19 Prueba de Avance Calle Cosecha



Figura 20 Prueba de Avance Calle Palera

Cálculos: Con los datos obtenidos en el campo y aplicando regresión potencial a los datos anteriores, es decir tiempo de avance vs longitud

5.2.1 RIEGO POR SURCOS ANCHOS RECTOS EN CALLE DE COSECHA

METODOLOGIA

Para construcción de las tres replicas de los surcos anchos rectos en calle de cosecha se procedió de la siguiente forma:

1. Limpieza del lote con cortamaleza.
2. Diseño de surcos de acuerdo al plano topográfico
3. Construcción de los surcos anchos rectos con taipa
4. Construcción de canales regadores.
5. Para la adecuada implementación y funcionamiento de este sistema de riego se fue riguroso en la disposición de los residuos foliares.
6. Medición del caudal de canales regadores.
7. Pruebas de avance.
8. Pruebas de infiltración.



Figura 22 Disposición de Hoja Surcos Calle Palera



Figura 21 Surcos Calle de Palera

5.2.2 RIEGO POR SURCOS ANCHOS RECTOS EN CALLE DE PALERA

METODOLOGIA

Para construcción de las tres replicas de los surcos anchos rectos en calle de palera se procedió de la siguiente forma:

1. Limpieza del lote con rolo de cuchilla.
2. Diseño de surcos de acuerdo al plano topográfico
3. Construcción de los surcos anchos rectos con taipa
4. Construcción de canales regadores.
5. Para la adecuada implementación y funcionamiento de este sistema de riego se fue riguroso en la disposición de los residuos foliares.
6. Medición del caudal de canales regadores.
7. Pruebas de avance.
8. Pruebas de infiltración.



Figura 24 Riego por Surcos en Calle de Cosecha1



Figura 23 Riego por surcos Calle de Cosecha2

5.2.3 RIEGO POR INUNDACION (METODO TRADICIONAL)

METODOLOGIA

Para el adecuado funcionamiento del riego por inundación se procedió de la siguiente forma:

1. Limpieza del lote con cortamaleza.
2. Medición del caudal de canales regadores

La aducción del agua desde el canal regador al surco se hace mediante una bocana o boquete artesanal cuyas dimensiones corresponden al ancho de la pala del trabajador.



Figura 26 Parcela de Riego Tradicional



Figura 25 Riego Tradicional

6. RESULTADOS

Caudal máximo no erosivo

$$Q_{max} = \frac{0.63}{S_{max}}$$

S_{max} : pendiente máxima

Tabla 6. Caudal Máximo No Erosivo

TRATAMIENTO	Qmax(lps)
T1-1	2.75
T1-2	1.85
T1-3	4.99
T2-1	1.83
T2-2	1.79
T2-3	1.34

A continuación se muestran los caudales promedios utilizados para regar cada uno de los tratamientos, con un canal y tiempo determinado. El rendimiento del riego por surcos anchos por trabajador esta alrededor de 8 hectáreas por día, mientras que para el método tradicional se consigue una productividad por hombre de 1.5 a 2 hectáreas por día.

Tabla 7. Gasto de Agua Por Hectárea

TRATAMIENTO	canal	caudal (lps)	área (ha)	tiempo de riego (horas)	volumen por hectárea (m ³ /ha)
T1-1	RS6	12	1.25	7	259.2
T1-2	RS80	18	1.74	3.5	130.3
	RS5	44.72	2.38	3.5	236.8
T1-3	RS8	25	2.8	6	192.9
T2-1	RS5	12	0.86	5.25	263.7
	RS6	43.3	4.34	7	544.1
T2-2	RS5	18.69	2.55	8	368.2
T2-3	RP2	34.65	9.73	24	86.7
T3-1	RS8	31	2.1	25	1328.6
	RS5	35.8	3	25	1074.0
T3-2	RS5	60	6.43	43	1444.5
T3-3	RP2	34.65	1.97	24	1519.7

Dependiendo el ciclo de cosecha de la plantación se fueron registrando los pesos obtenidos de fruta por cada tratamiento. Cada lote fue demarcado con pintura blanca sobre las palmas limítrofes para llevar un mejor control de lo realizado en los lotes. En campo se hace la recolección del racimo mediante carretas tiradas por búfalos hasta tener una carga de casi una tonelada y luego son vaciados en zorros de mayor capacidad.



Figura 28 Carro Búfalo



Figura 27 Zorro de Transporte

En la fábrica de extracción se realiza el peso de la cosecha extraída de cada uno de los tratamientos, mediante una báscula industrial que registra la medida en kilogramos y con dos decimales de precisión.



Figura 30 Báscula Industrial



Figura 29 Tablero Digital

La plantación registró un aumento de la producción en todos los lotes en donde se encuentra el ensayo a partir del mes de Julio en donde se realizó la cosecha número siete, teniendo un valor promedio similar por hectárea en cada tratamiento. Llegando a un máximo en el mes de Agosto con alrededor de 2500 kilogramos por hectárea.

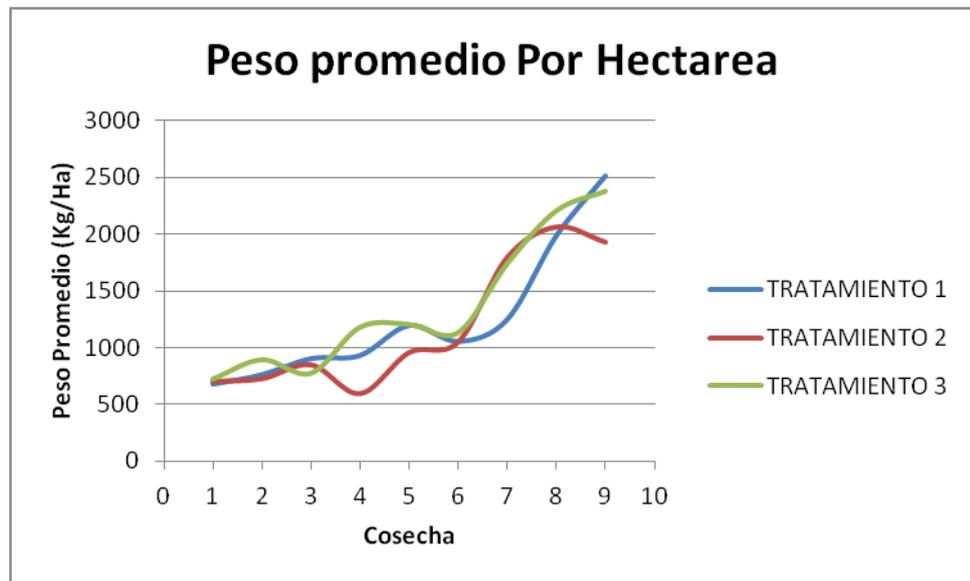


Figura 31 Peso Promedio Por Hectárea

El peso del racimo promedio en los tres tratamientos a oscilado desde los 16.5 kilogramos hasta una valor máximo de 19.5, presentando variaciones muy pequeñas en el tratamiento 1.

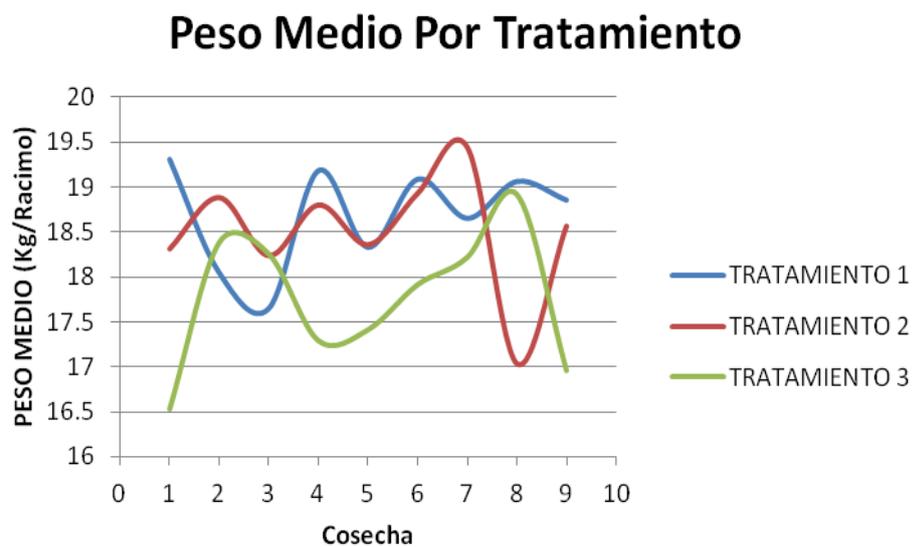


Figura 32 Peso Medio Por Tratamiento

A continuación se muestran los pesos promedios y número de racimos:

Tabla 8. Datos de Cosecha Por Tratamiento

COSECHA	TTO	REPETICION	# RACIMOS	W RAC (KG)	W MEDIO (Kg/Rac)	W MEDIO TTO (Kg/Rac)	W ACUMULADO TTO
1	1	1	70	1230	17.57		
	1	2	130	2710	20.85	19.30	5,070
	1	3	58	1130	19.48		
	2	1	106	1950	18.40		
	2	2	121	2500	20.66	18.31	11,740
	2	3	459	7290	15.88		
	3	1	99	1660	16.77		
	3	2	282	4680	16.60	16.53	8,370
	3	3	125	2030	16.24		
2	1	1	105	1800	17.14		
	1	2	140	2170	19.30	18.05	4,890
	1	3	52	920	17.69		
	2	1	228	4510	19.78		
	2	2	130	2530	19.46	18.89	10,070
	2	3	174	3030	17.41		
	3	1	155	2970	19.16		
	3	2	205	3740	18.24	18.39	9,550
	3	3	160	2840	17.75		
3	1	1	35	940	17.65		
	1	2	257	4300	16.73	17.65	7,840
	1	3	140	2600	18.57		
	2	1	200	3890	19.45		
	2	2	160	2720	17.00	18.24	13,660
	2	3	386	7050	18.26		
	3	1	276	5140	18.62		
	3	2	195	3590	18.41	18.26	10,060
	3	3	75	1330	17.73		
4	1	1	76	1540	17.30		
	1	2	68	1610	23.68	19.18	6,460
	1	3	200	3310	16.55		
	2	1	130	2760	21.23		
	2	2	90	1750	19.44	18.80	9,970
	2	3	347	5460	15.73		

	3	1	122	2120	17.38		
	3	2	380	6030	15.87	17.29	12,250
	3	3	220	4100	18.64		

Continuación Tabla 8. Datos de Cosecha Por Tratamiento

COSECHA	TTO	REPETICION	# RACIMOS	W RAC (KG)	W MEDIO (Kg/Rac)	W MEDIO TTO (Kg/Rac)	W ACUMULADO TTO
5	1	1	90	1870	20.78		
	1	2	170	2800	16.47	18.33	8,660
	1	3	225	3990	17.73		
	2	1	265	5030	18.98		
	2	2	175	3190	18.23	18.36	14,510
	2	3	352	6290	17.87		
	3	1	250	4040	16.16		
	3	2	480	8450	17.60	17.42	15,170
	3	3	145	2680	18.48		
6	1	1	110	2096	19.05		
	1	2	200	3732	18.66	19.08	7,488
	1	3	85	1660	19.53		
	2	1	355	7420	20.90		
	2	2	180	3370	18.72	18.93	14,620
	2	3	223	3830	17.17		
	3	1	173	3300	19.08		
	3	2	210	3410	16.24	17.92	10,950
	3	3	230	4240	18.43		
7	1	1	85	1630	19.18		
	1	2	310	6070	19.58	18.65	10,450
	1	3	160	2750	17.19		
	2	1	550	10150	18.45		
	2	2	270	5690	21.07	19.45	27,500
	2	3	620	11660	18.81		
	3	1	250	4630	18.52		
	3	2	710	12570	17.70	18.22	21,440
	3	3	230	4240	18.43		
8	1	1	142	2810	19.79		
	1	2	360	7280	20.22	19.06	15,580
	1	3	320	5490	17.16		
	2	1	586	12130	20.70		
	2	2	360	5060	14.06	17.04	35,360
	2	3	1111	18170	16.35		

	3	1	685	12710	18.55		
	3	2	310	5570	17.97	18.92	24,430
	3	3	304	6150	20.23		

Continuación Tabla 8. Datos de Cosecha Por Tratamiento

COSECHA	TTO	REPETICION	# RACIMOS	W RAC (KG)	W MEDIO (Kg/Rac)	W MEDIO TTO (Kg/Rac)	W ACUMULADO TTO
9	1	1	207	4340	20.97		
	1	2	412	7560	18.35	18.85	18,190
	1	3	365	6290	17.23		
	2	1	490	10540	21.51		
	2	2	275	4430	16.11	18.57	34,590
	2	3	1085	19620	18.08		
	3	1	467	7910	16.94		
	3	2	790	13750	17.41	16.96	27,980
	3	3	382	6320	16.54		

Como la textura del suelo no varía a lo largo de todos los tratamientos se optó por examinar a dos muestras de suelo las propiedades físicas, correspondientes a los lotes B4 (tratamiento T2-1) y lote B6 (tratamiento T1-2). Según los resultados y siguiendo la metodología de Miguel Germán Cifuentes Perdomo, se calcula el requerimiento hídrico teórico por el método RASPLARLO (relación agua-suelo-planta para riego).

Para la muestra 1: Lote B4 (tratamiento T2-1)

Textura del suelo: Arcillo Arenosa (Ar A)
 Capacidad de Campo (CC): 39.20%
 Punto de Marchites Permanente (PMP): 20.10%
 Densidad Aparente (Da): 1.2 gr/cm³
 Nivel de Agotamiento (Na): 50%
 Profundidad Radicular Efectiva (Pre): 50 cm

CÁLCULO DE LA LÁMINA NETA (LN) O CANTIDAD DE AGUA A APLICAR

$$LN = \frac{(CC - PMP)}{100} * Da * Pre * Na$$

$$LN = \frac{(39.20 - 20.10)}{100} * 1.2 * 500 * 0.5$$

$$LN = 57.3 \text{ mm}$$

NOTA: En 10.000 m² cuando llueve o se riega 1 mm de agua equivale a 10 m³ es decir según la lámina neta se estaría aplicando 573 m³ en la hectárea. Pero el riego se realiza por surcos de 4 metros de ancho en calles alternas y tomando una longitud promedio de 200 m, lo que representa que se riega el 30% del área total. Es decir, que se debería estar aplicando un volumen de 172 m³ en la hectárea.

CÁLCULO DE LÁMINA BRUTA O CANTIDAD DE AGUA A APLICAR DE ACUERDO AL SISTEMA DE RIEGO

$$LB = \frac{LN}{Ea}$$

LB: Lámina Bruta

LN: Lámina Neta

Ea: eficiencia de aplicación del sistema de riego por superficie

$$LB = \frac{57.3}{0.5}$$

$$LB = 114.6 \text{ mm}$$

Para regar el 30% del área total se requiere un volumen 343.8 m³

¿CADA CUANTO SE DEBE REGAR?, ¿CON QUE FRECUENCIA DE RIEGO?

$$FR = \frac{LN}{Uc}$$

FR: Frecuencia de riego

LN: Lámina Neta

Uc: Uso consumo (mm/día), valor máximo de la evaporación y transpiración del cultivo en un día. 8.87 mm/día para el mes de marzo del 2012.

$$FR = \frac{57.3}{8.87}$$

$$FR = 6.5 \text{ dias}$$

Para la muestra 2: Lote B6 (tratamiento T1-2)

Textura del suelo:	Arcillo Arenosa (Ar A)
Capacidad de Campo (CC):	37.90%
Punto de Marchites Permanente (PMP):	18.20%
Densidad Aparente (Da):	1.2 gr/cm ³
Nivel de Agotamiento (Na):	50%
Profundidad Radicular Efectiva (Pre):	50 cm

CÁLCULO DE LA LÁMINA NETA (LN) O CANTIDAD DE AGUA A APLICAR

$$LN = \frac{(CC - PMP)}{100} * Da * Pre * Na$$

$$LN = \frac{(37.90 - 18.20)}{100} * 1.2 * 500 * 0.5$$

$$LN = 59.1 \text{ mm}$$

NOTA: En 10.000 m² cuando llueve o se riega 1 mm de agua equivale a 10 m³ es decir según la lámina neta se estaría aplicando 591 m³ en la hectárea. Pero el riego se realiza por surcos de 4 metros de ancho en calles alternas y tomando una longitud promedio de 200 m, lo que representa que se riega el 30% del área total. Es decir, que se debería estar aplicando un volumen de 177.3 m³ en la hectárea.

CÁLCULO DE LÁMINA BRUTA O CANTIDAD DE AGUA A APLICAR DE ACUERDO AL SISTEMA DE RIEGO

$$LB = \frac{LN}{Ea}$$

LB: Lámina Bruta

LN: Lámina Neta

Ea: eficiencia de aplicación del sistema de riego por superficie

$$LB = \frac{59.1}{0.5}$$

$$LB = 118.2 \text{ mm}$$

Para regar el 30% del área total se requiere un volumen 354.6 m³

¿CADA CUANTO SE DEBE REGAR?, ¿CON QUE FRECUENCIA DE RIEGO?

$$FR = \frac{LN}{Uc}$$

FR: Frecuencia de riego

LN: Lámina Neta

Uc: Uso consumo (mm/día), valor máximo de la evaporación y transpiración del cultivo en un día. 8.87 mm/día para el mes de marzo del 2012.

$$FR = \frac{59.1}{8.87}$$

$$FR = 6.7 \text{ dias}$$

Se realizaron pruebas de infiltración con el anillo infiltrómetro; sin embargo al ser esta una medición puntual arrojaron datos diferentes en un mismo surco pasando de valores muy rápidos a muy lentos

Tabla 9. Datos Prueba de Infiltración Tratamiento 2-1A

PRUEBA DE INFILTRACIÓN POR ANILLOS				
TRATAMIENTO T2-1				
Tiempo (min)	lectura (cm)	lectura desde cero (cm)	infiltración acumulada (cm)	infiltración instantánea
0	9	0	0	0
0.167	8.7	0.3	0.3	107.78
0.333	8.6	0.4	0.7	36.14
0.5	8	1	1.7	215.57
0.667	7.9	1.1	2.8	35.93
0.833	7.8	1.2	4	36.14
1	7.6	1.4	5.4	71.86
1.25	7.55	1.45	6.85	12.00
1.5	7.5	1.5	8.35	12.00
1.75	7.5	1.5	9.85	0.00
2	7.4	1.6	11.45	24.00
2.5	7.3	1.7	13.15	12.00
3	7.2	1.8	14.95	12.00
3.5	7.1	1.9	16.85	12.00
4	7	2	18.85	12.00
5	6.85	2.15	21	9.00
6	6.6	2.4	23.4	15.00
7	6.5	2.5	25.9	6.00
10	6.1	2.9	28.8	8.00
15	5.5	3.5	32.3	7.20
20	5	4	36.3	6.00
20	8			
25	7.55	0.45	36.75	5.40
30	7.1	0.9	37.65	5.40
40	6.4	1.6	39.25	4.20
50	5.65	2.35	41.6	4.50
60	5	3	44.6	3.90
60	8			
75	7	1	45.6	4.00
90	6.15	1.85	47.45	3.40
105	5.3	2.7	50.15	3.40

105	9			
120	8.25	0.75	50.9	3.00
135	7.2	1.8	52.7	4.20
150	6.35	2.65	55.35	3.40

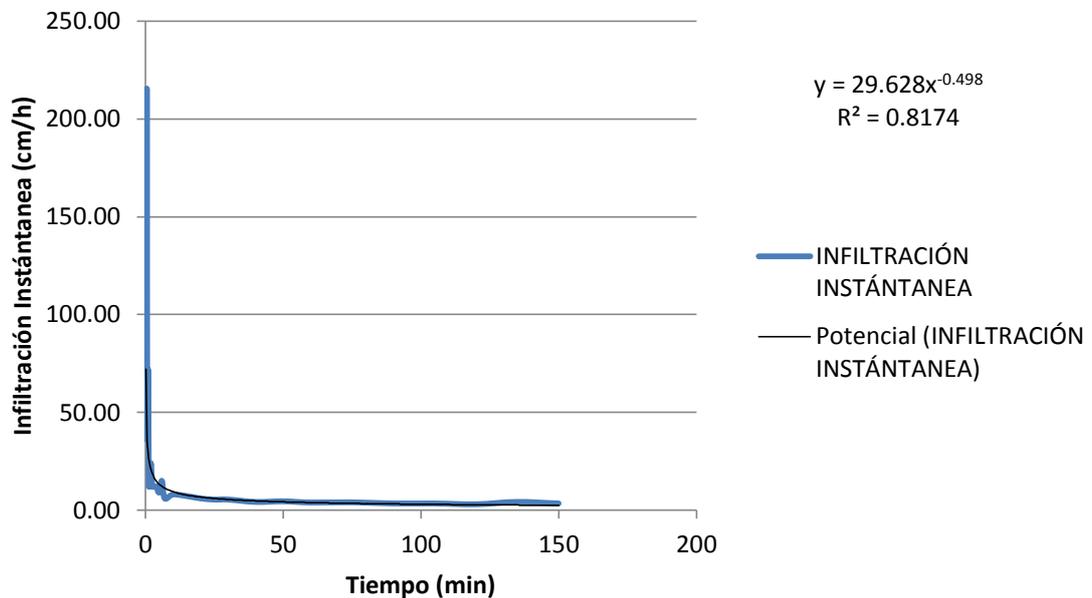


Figura 33 Infiltración Instantánea Tratamiento 2-1

Cálculo de la infiltración básica

$$Tb = -600n$$

Tb: tiempo básico

n: exponente de la ecuación de regresión potencial de la infiltración instantánea.

$$Tb = -600 * -0.498$$

$$Tb = 298.8 \text{ min}$$

Reemplazando el tiempo básico en la ecuación de infiltración instantánea.

$$I_{inst} = 29.628 * (298.8)^{-0.498}$$

$$I_{inst} = 1.73 \text{ cm/h}$$

Velocidad de infiltración moderadamente lenta.

Para calcular la función de infiltración acumulada se integra la función de infiltración instantánea de la siguiente manera:

$$I = KT^m$$

$$I = \frac{KT^{(n+1)}}{60 * (n + 1)}$$

$$I = \frac{29.628T^{(0.502)}}{60 * (0.502)}$$

$$I = 0.98T^{(0.502)}$$

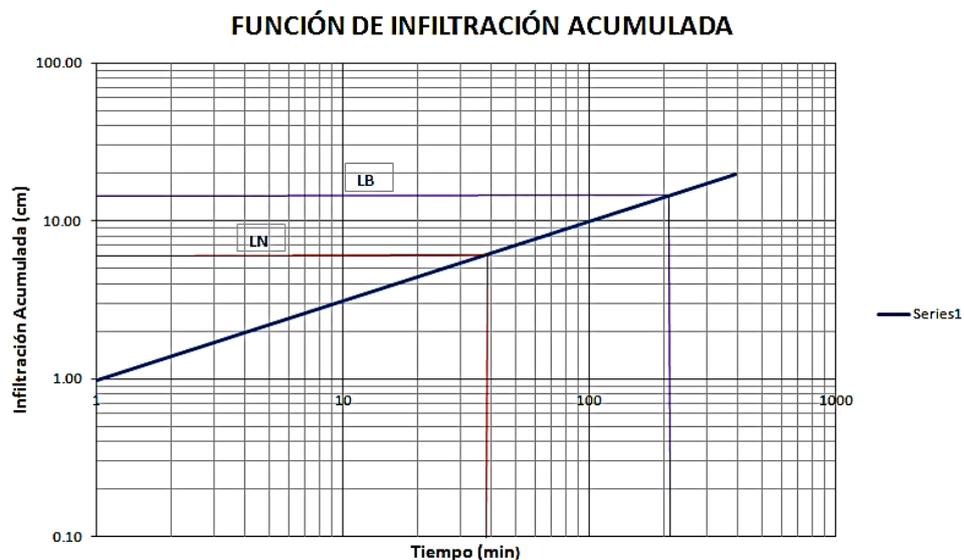


Figura 34 Infiltración Acumulada Tratamiento 2-1

El tiempo de riego a partir de la grafica de infiltración acumulada para una lámina neta de 59.1 mm es de 38 minutos.

Para una longitud del surco de 150 metros el tiempo total de riego está definido por la suma del tiempo de avance y el tiempo de riego

$$T_t = T_a + T_r$$

$$T_t = 182 + 38 = 220 \text{ minutos}$$

El tiempo total de riego es de 220 minutos con un caudal de 2.0 LPS y la lámina bruta aplicada corresponde a un valor de 140 mm. Ahora la lámina percolada será la diferencia entre la lámina bruta y la lámina neta.

$$D_{pu} = 140mm - 59.1mm = 80.9 \text{ mm}$$

Ahora, la lámina media percolada es de 40.5 mm

Eficiencia del riego

$$E_a = \frac{LN}{LB} * 100$$

$$E_a = \frac{59.1}{140} * 100 = 42.2\%$$

Tabla 10. Datos Prueba de Infiltración Tratamiento 2-1B

PRUEBA DE INFILTRACIÓN POR ANILLOS				
TRATAMIENTO T2-1				
Tiempo (min)	lectura (cm)	lectura desde cero (cm)	infiltración acumulada (cm)	infiltración instantánea
0	9.5	0	0	0
0.167	9.3	0.2	0.2	71.86
0.333	9.3	0.2	0.4	0.00
0.5	9.25	0.25	0.65	17.96
0.667	9.2	0.3	0.95	17.96
0.833	9.1	0.4	1.35	36.14
1	9.05	0.45	1.8	17.96
1.5	9	0.5	2.3	6.00
2	8.9	0.6	2.9	12.00
2.5	8.85	0.65	3.55	6.00
3	8.8	0.7	4.25	6.00
3.5	8.7	0.8	5.05	12.00
4	8.7	0.8	5.85	0.00
4.5	8.65	0.85	6.7	6.00
5	8.6	0.9	7.6	6.00
7	8.5	1	8.6	3.00
10	8.4	1.1	9.7	2.00
15	8.3	1.2	10.9	1.20
30	8.05	1.45	12.35	1.00
45	7.95	1.55	13.9	0.40
60	7.8	1.7	15.6	0.60
75	7.6	1.9	17.5	0.80
90	7.55	1.95	19.45	0.20
120	7.4	2.1	21.55	0.30
150	7.1	2.4	23.95	0.60
180	7	2.5	26.45	0.20
210	6.75	2.75	29.2	0.50

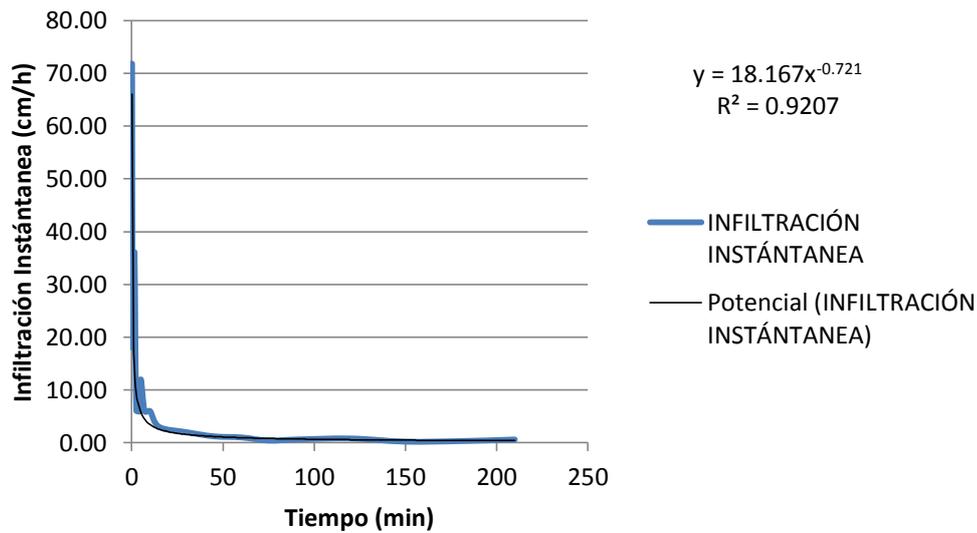


Figura 35 Infiltración Instantánea Tratamiento 2-1

Cálculo de la infiltración básica

$$Tb = -600n$$

Tb: tiempo básico

n: exponente de la ecuación de regresión potencial de la infiltración instantánea

$$Tb = -600 * -0.721$$

$$Tb = 432.6 \text{ min}$$

Reemplazando el tiempo básico en la ecuación de infiltración instantánea

$$I_{inst} = 18.167 * (432.6)^{-0.721}$$

$$I_{inst} = 0.23 \text{ cm/h}$$

Velocidad de infiltración lenta

Para calcular la función de infiltración acumulada se integra la función de infiltración instantánea de la siguiente manera:

$$I = KT^m$$

$$I = \frac{KT^{(n+1)}}{60 * (n + 1)}$$

$$I = \frac{18.167T^{(0.279)}}{60 * (0.279)}$$

$$I = 1.085T^{(0.279)}$$

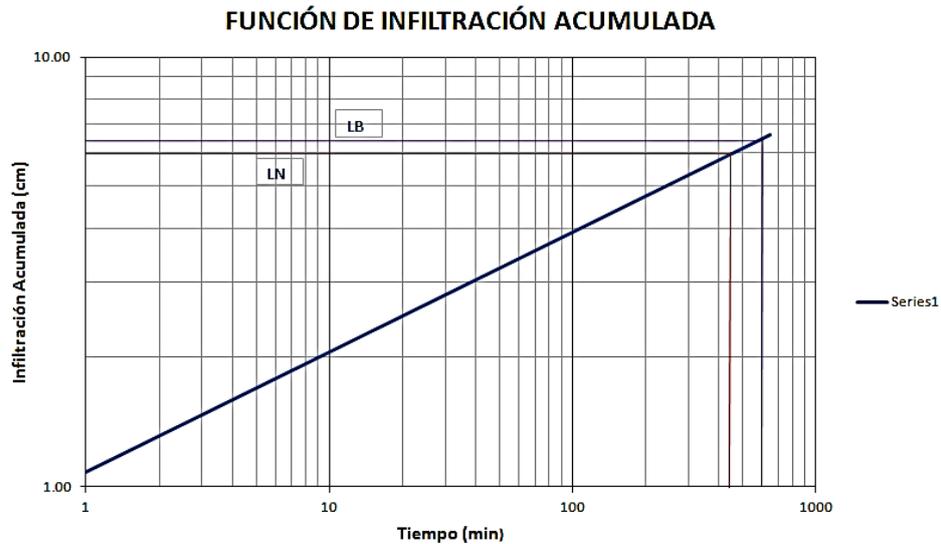


Figura 36 Infiltración Acumulada tratamiento 2-1

El tiempo de riego a partir de la grafica de infiltración acumulada para una lámina neta de 59.1 mm es de 440 minutos.

Para una longitud del surco de 150 metros el tiempo total de riego está definido por la suma del tiempo de avance y el tiempo de riego

$$T_t = T_a + T_r$$

$$T_t = 182 + 440 = 622 \text{ minutos}$$

El tiempo total de riego es de 622 minutos con un caudal de 2.0 LPS y la lámina bruta aplicada corresponde a un valor de 65 mm. Ahora la lámina percolada será la diferencia entre la lámina bruta y la lámina neta.

$$D_{pu} = 65\text{mm} - 59.1\text{mm} = 5.9 \text{ mm}$$

Ahora, la lámina media percolada es de 5.9 mm

Eficiencia del riego

$$E_a = \frac{LN}{LB} * 100$$

$$E_a = \frac{59.1}{65} * 100 = 90.92\%$$

Tabla 11. Datos Prueba de Infiltración Tratamiento 1-2

PRUEBA DE INFILTRACIÓN POR ANILLOS				
TRATAMIENTO T1-2				
Tiempo (min)	lectura (cm)	lectura desde cero (cm)	infiltración acumulada (cm)	infiltración instantánea
0	7.8	0	0	0
0.167	7.5	0.3	0.3	107.78
0.333	7.3	0.5	0.8	72.29
0.5	7.15	0.65	1.45	53.89
0.667	6.8	1	2.45	125.75
0.833	6.6	1.2	3.65	72.29
1	6.5	1.3	4.95	35.93
2	5.9	1.9	6.85	36.00
3	5.2	2.6	9.45	42.00
3	9.2			
4	8.9	0.3	9.75	18.00
5	8.45	0.75	10.5	27.00
7	7.6	1.6	12.1	25.50
10	6.6	2.6	14.7	20.00
12	6.1	3.1	17.8	15.00
16	5.1	4.1	21.9	15.00
16	8.5			
20	8.05	0.45	22.35	6.75
25	7.95	0.55	22.9	1.20
30	7.8	0.7	23.6	1.80
35	7.6	0.9	24.5	2.40
35	10.2			
40	9.9	0.3	24.8	3.60
45	8.25	1.95	26.75	19.80
50	7.3	2.9	29.65	11.40
55	6.5	3.7	33.35	9.60
60	5.7	4.5	37.85	9.60
65	5	5.2	43.05	8.40
65	10.1			
70	9.15	0.95	44	11.40
80	7.6	2.5	46.5	9.30
90	5.85	4.25	50.75	10.50
100	4.6	5.5	56.25	7.50
100	10			
110	8.6	1.4	57.65	8.40
120	6.9	3.1	60.75	10.20
135	4.8	5.2	65.95	8.40
135	9.2			
150	6.9	2.3	68.25	9.20
165	5.45	3.75	72	5.80

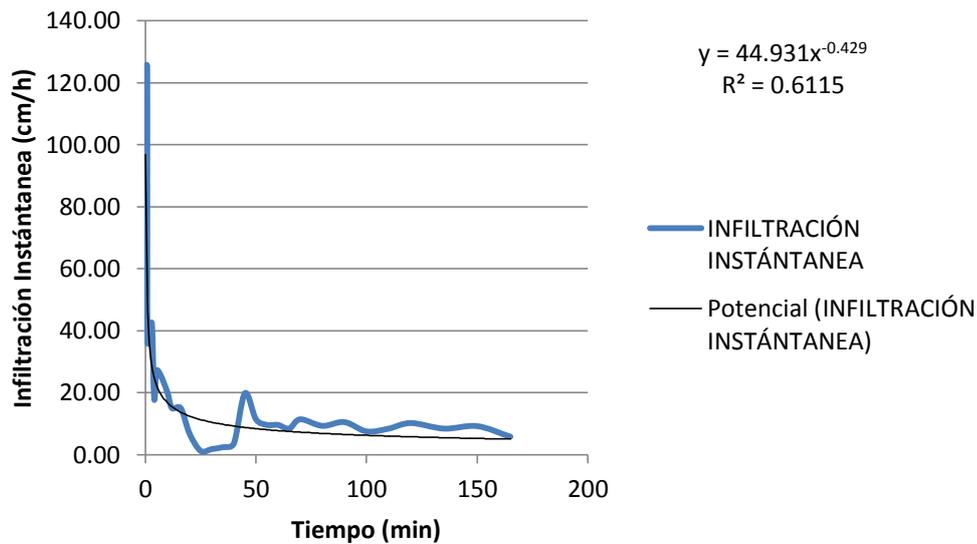


Figura 37 Infiltración Instantánea Tratamiento 2-1

Cálculo de la infiltración básica

$$Tb = -600n$$

Tb: tiempo básico

n: exponente de la ecuación de regresión potencial de la infiltración instantánea

$$Tb = -600 * -0.429$$

$$Tb = 257.4 \text{ min}$$

Reemplazando el tiempo básico en la ecuación de infiltración instantánea

$$I_{inst} = 44.931 * (257.4)^{-0.429}$$

$$I_{inst} = 4.15 \text{ cm/h}$$

Velocidad de infiltración moderada

Para calcular la función de infiltración acumulada se integra la función de infiltración instantánea de la siguiente manera:

$$I = KT^m$$

$$I = \frac{KT^{(n+1)}}{60 * (n + 1)}$$

$$I = \frac{44.931T^{(0.571)}}{60 * (0.571)}$$

$$I = 1.31T^{(0.571)}$$

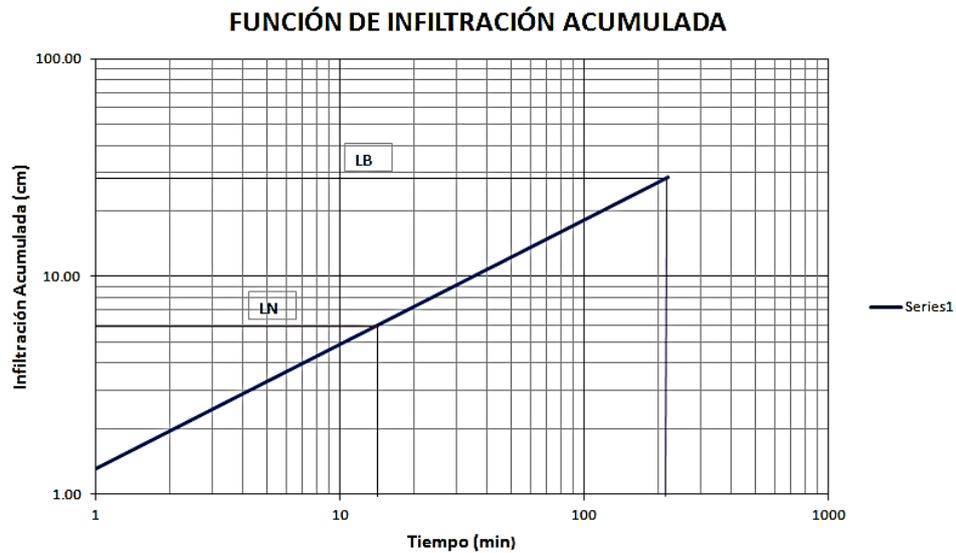


Figura 38 Infiltración Acumulada Tratamiento 2-1

El tiempo de riego a partir de la grafica de infiltración acumulada para una lámina neta de 59.1 mm es de 14 minutos.

Para una longitud del surco de 150 metros el tiempo total de riego está definido por la suma del tiempo de avance y el tiempo de riego

$$T_t = T_a + T_r$$

$$T_t = 182 + 14 = 196 \text{ minutos}$$

El tiempo total de riego es de 196 minutos con un caudal de 2.0 LPS y la lámina bruta aplicada corresponde a un valor de 280 mm. Ahora la lámina percolada será la diferencia entre la lámina bruta y la lámina neta.

$$D_{pu} = 280\text{mm} - 59.1\text{mm} = 220.9 \text{ mm}$$

Ahora, la lámina media percolada es de 220.9 mm

Eficiencia del riego

$$E_a = \frac{LN}{LB} * 100$$

$$E_a = \frac{59.1}{280} * 100 = 21.1\%$$

Tabla 12. Datos Prueba De Infiltración Tratamiento 2-2

PRUEBA DE INFILTRACIÓN POR ANILLOS				
TRATAMIENTO T2-2				
Tiempo (min)	lectura (cm)	lectura desde cero (cm)	infiltración acumulada (cm)	infiltración instantánea
0	10.5	0	0	0
0.5	10.4	0.1	0.1	12.00
1	10.3	0.2	0.3	12.00
1.5	10.1	0.4	0.7	24.00
2	10	0.5	1.2	12.00
2.5	9.8	0.7	1.9	24.00
3	9.75	0.75	2.65	6.00
3.5	9.6	0.9	3.55	18.00
4	9.6	0.9	4.45	0.00
4.5	9.5	1	5.45	12.00
5	9.5	1	6.45	0.00
6	9.4	1.1	7.55	6.00
7	9.2	1.3	8.85	12.00
8	9.1	1.4	10.25	6.00
9	9	1.5	11.75	6.00
10	8.8	1.7	13.45	12.00
12	8.7	1.8	15.25	3.00
14	8.6	1.9	17.15	3.00
16	8.2	2.3	19.45	12.00
18	8.1	2.4	21.85	3.00
20	8	2.5	24.35	3.00
25	7.55	2.95	27.3	5.40
30	7.15	3.35	30.65	4.80
35	6.7	3.8	34.45	5.40
40	6.35	4.15	38.6	4.20
45	6	4.5	43.1	4.20
50	5.75	4.75	47.85	3.00
55	5.4	5.1	52.95	4.20
55	10.1			
60	9.75	0.35	53.3	4.20
70	9.1	1	54.3	3.90
80	8.5	1.6	55.9	3.60
90	7.65	2.45	58.35	5.10
100	7.2	2.9	61.25	2.70
110	6.5	3.6	64.85	4.20
120	6	4.1	68.95	3.00
135	5.2	4.9	73.85	3.20
145	4.8	5.3	79.15	2.40
145	10			
165	9	1	80.15	3.00
180	8.05	1.95	82.1	3.80
195	7.8	2.2	84.3	1.00
210	6.65	3.35	87.65	4.60
225	6	4	91.65	2.60
240	5.4	4.6	96.25	2.40

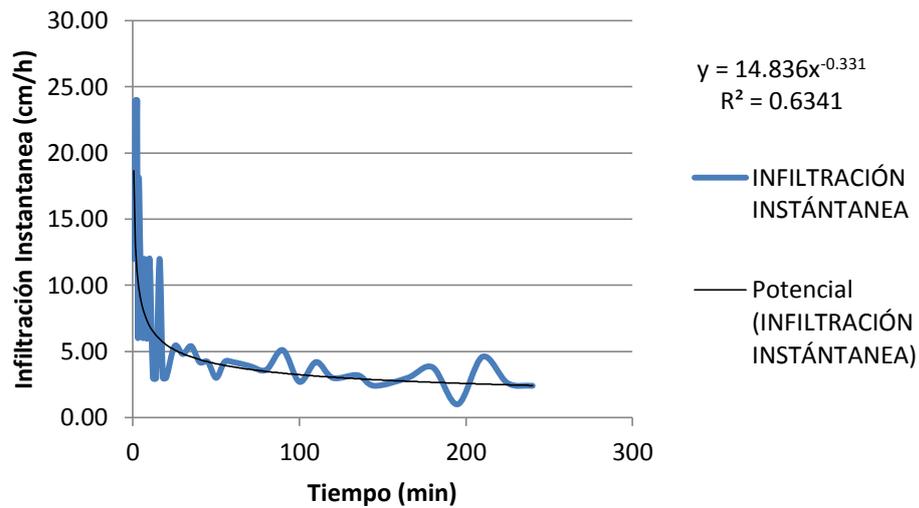


Figura 39 Infiltración Instantánea Tratamiento 2-2

Cálculo de la infiltración básica

$$Tb = -600n$$

Tb: tiempo básico

n: exponente de la ecuación de regresión potencial de la infiltración instantánea

$$Tb = -600 * -0.331$$

$$Tb = 198.6 \text{ min}$$

Reemplazando el tiempo básico en la ecuación de infiltración instantánea

$$I_{inst} = 14.836 * (198.6)^{-0.331}$$

$$I_{inst} = 2.57 \text{ cm/h}$$

Velocidad de infiltración moderada

Para calcular la función de infiltración acumulada se integra la función de infiltración instantánea de la siguiente manera:

$$I = KT^m$$

$$I = \frac{KT^{(n+1)}}{60 * (n + 1)}$$

$$I = \frac{14.836T^{(0.669)}}{60 * (0.669)}$$

$$I = 0.37T^{(0.669)}$$

FUNCIÓN DE INFILTRACIÓN ACUMULADA

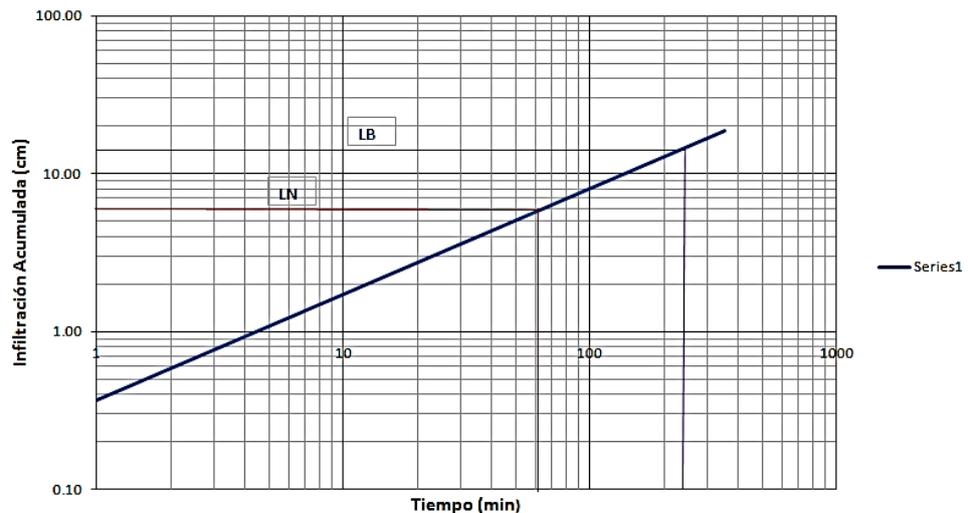


Figura 40 Infiltración Acumulada Tratamiento 2-2

El tiempo de riego a partir de la grafica de infiltración acumulada para una lámina neta de 59.1 mm es de 62 minutos.

Para una longitud del surco de 150 metros el tiempo total de riego está definido por la suma del tiempo de avance y el tiempo de riego

$$T_t = T_a + T_r$$

$$T_t = 182 + 62 = 244 \text{ minutos}$$

El tiempo total de riego es de 244 minutos con un caudal de 2.0 LPS y la lámina bruta aplicada corresponde a un valor de 140 mm. Ahora la lámina percolada será la diferencia entre la lámina bruta y la lámina neta.

$$D_{pu} = 140\text{mm} - 59.1\text{mm} = 80.9 \text{ mm}$$

Ahora, la lámina media percolada es de 80.9 mm

Eficiencia del riego

$$E_a = \frac{LN}{LB} * 100$$

$$E_a = \frac{59.1}{140} * 100 = 42.2\%$$

También se registraron pruebas en las que la infiltración fue muy lenta y en donde la lámina infiltrada era cero. Posiblemente debido a la elevada mecanización ejercida sobre el suelo, además de la forma cómo se realiza la cosecha del fruto de la palma, ya que se utilizan carretas tiradas por búfalos, quienes mueven de 1 a 1.5 toneladas.

Las pruebas de avance se realizaron para distintos caudales y según los tipos de tratamientos.

Tabla 13. Tiempos de Avance Tratamiento 2-1 Caudal 1.44 lps

TIEMPOS DE AVANCE (**minutos**)

caudal q(lps)	distancia en metros desde la cabecera									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1.44 (lps)	9	17	28	34	43	54	65	78	116	143

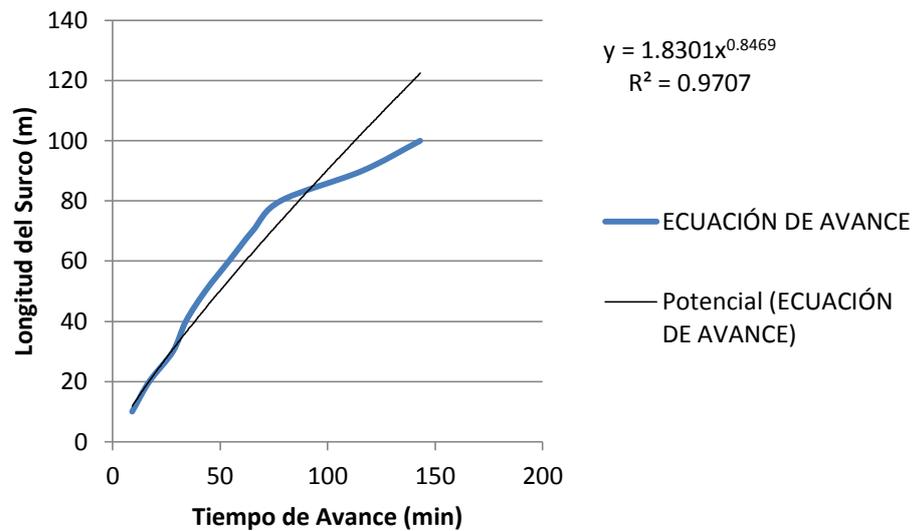


Figura 41 Tiempos de Avance 1.44 lps

Tabla 14. Tiempos de Avance Tratamiento 2-1 Caudal 2.0 lps

TIEMPOS DE AVANCE (**minutos**)

caudal q(lps)	distancia en metros desde la cabecera							
	10	20	30	40	50	60	70	80
2.0	7	14	21	35	40	48	80	94

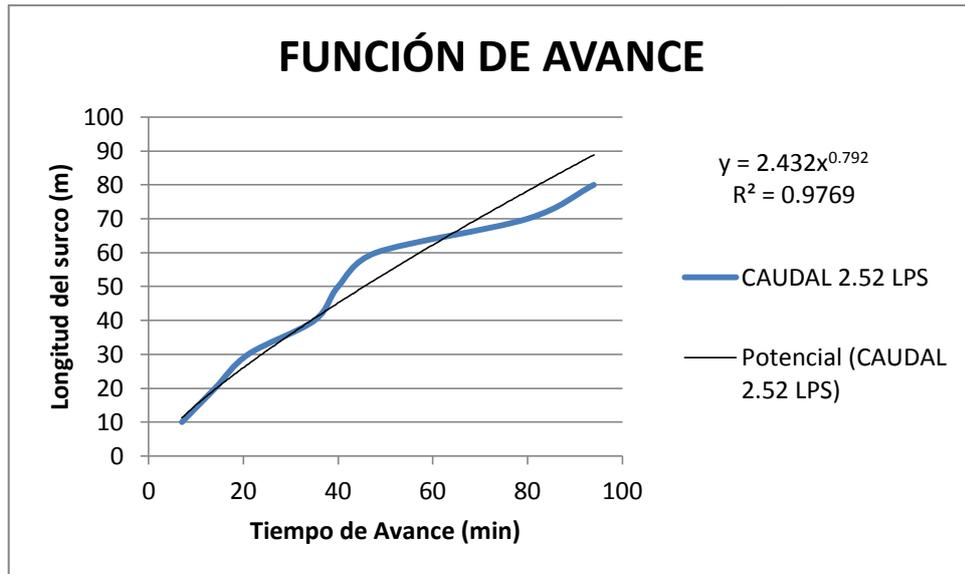


Figura 42 Tiempos de Avance Caudal 2.0 lps

Tabla 15. Tiempos de Avance Tratamiento 2-1 Caudal 2.5 lps

TIEMPOS DE AVANCE (minutos)

caudal q(lps)	distancia en metros desde la cabecera									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
2.5	2	3	6	9	13	17	19	23	28	35

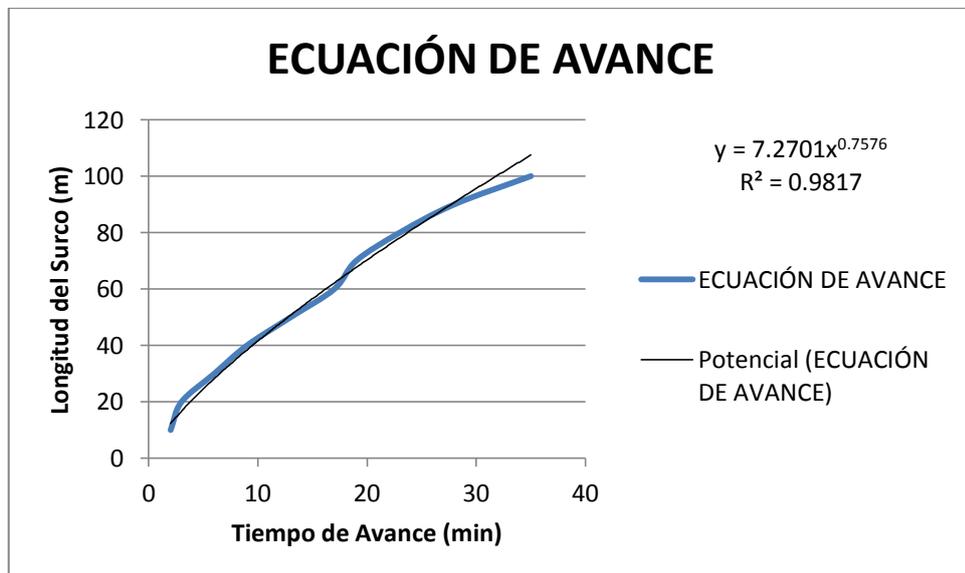


Figura 43 Tiempo de avance caudal 2.5

Aunque la longitud de los surcos en cada tratamiento no es igual se toma una longitud promedio de 150 metros para diseñar el tiempo de riego necesario y así aplicar la lámina neta correspondiente para llevar al suelo a capacidad de campo.

Tabla 16. Resumen de Cálculos y Ecuaciones

Ecuación				Infiltración Básica	LN (mm)	LB (mm)	Tiempo Total Riego (min)	Percolación (mm)	Eficiencia
caudal (LPS)	Avance	Infiltración Instantánea	Infiltración Acumulada						
1.44	$X = 1.8301t^{0.8469}$	$i_{inst} = 26.628t^{-0.498}$	$I = 0.98t^{0.502}$	1.73 cm/h velocidad de infiltración moderadamente lenta	59.1	140	220	80.9	42.2
2	$X = 2.432t^{0.792}$				59.1	140	220	80.9	42.2
2.5	$X = 7.2701t^{0.7576}$				59.1	95	92	35.9	62.2
1.44	$X = 1.8301t^{0.8469}$	$i_{inst} = 18.167t^{-0.721}$	$I = 1.085t^{0.279}$	0.23 cm/h velocidad de infiltración lenta	59.1	65	622	5.9	90.92
2	$X = 2.432t^{0.792}$				59.1	65	622	5.9	90.92
2.5	$X = 7.2701t^{0.7576}$				59.1	63	494	1.9	93.8
1.44	$X = 1.8301t^{0.8469}$	$i_{inst} = 44.931t^{-0.429}$	$I = 1.31t^{0.571}$	4.15 cm/h velocidad de infiltración moderada	59.1	280	196	220.9	21.1
2	$X = 2.432t^{0.792}$				59.1	280	196	220.9	21.1
2.5	$X = 7.2701t^{0.7576}$				59.1	160	68	100.9	36.93
1.44	$X = 1.8301t^{0.8469}$	$i_{inst} = 14.836t^{-0.331}$	$I = 0.37t^{0.669}$	2.57 cm/h velocidad de infiltración moderada	59.1	140	244	80.9	42.2
2	$X = 2.432t^{0.792}$				59.1	140	244	80.9	42.2
2.5	$X = 7.2701t^{0.7576}$				59.1	82	116	22.9	72.1

A continuación se presentan los datos de precipitación diaria y mensual de la estaciones “Quinta” y “Fábrica” de la finca Palmacará LTDA.

Tabla 17. Precipitación Diaria Estación Quinta
PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA
VALORES TOTALES DIARIOS DE PRECIPITACIÓN
 ESTACIÓN: QUINTA AÑO: 2012

DIA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	0	0	0	0	8	2	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	2	0	17	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
5	0	0	0	45	1	0	0	15	0	0	0	0
6	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	4	0	0	0	15	0	0	0	0
9	0	0	0	4	0	0	0	8	0	0	0	0
10	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
12	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	22	6	5	0	0	0	0
14	0	0	0	2	7	5	13	5	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	63	18	0	0	0	0	0
17	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	7	5	0	0	4	0	0	0	0
20	0	0	0	33	0	0	10	0	0	0	0	0
21	0	0	0	45	0	0	2	22	0	0	0	0
22	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	18	0	0	0	9	0	0	0	0
24	0	0	20	2	0	0	6	0	0	0	0	0
25	0	0	1	0	29	7	0	29	0	0	0	0
26	0	0	0	4	6	4	0	14	0	0	0	0
27	0	0	0	5	0	1	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
31	0		16		3		24	0	0	0	0	0
TOTAL	0	4	42	184	108	106	82	150	0	0	0	0
N° DIAS LLUVIA	0	1	5	15	12	8	8	14	0	0	0	0
MAXIMA	0	4	20	45	29	63	24	29	0	0	0	0

Tabla 18. Precipitación Diaria Estación Fábrica

PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA

VALORES TOTALES DIARIOS DE PRECIPITACIÓN

ESTACIÓN: FÁBRICA

AÑO: 2012

DIA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	0	0	0	0	10	2	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	12	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	76	0	0	0	14	0	0	0	0
6	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	23	0	0	12	0	0	0	0
8	0	0	0	2	0	0	0	10	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0
10	0	4	3	0	0	0	0	5	0	0	0	0
11	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0
12	0	0	0	5	0	3	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	16	4	5	0	0	0	0
14	0	0	0	10	2	7	8	6	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	68	13	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	8	7	0	0	5	0	0	0	0
20	0	0	0	22	0	0	17	0	0	0	0	0
21	0	0	3	33	0	0	3	44	0	0	0	0
22	0	0	6	0	2	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	17	0	0	0	6	0	0	0	0
24	0	0	24	4	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	32	7	0	33	0	0	0	0
26	0	0	0	0	5	2	0	18	0	0	0	0
27	0	0	0	5	0	3	0	1	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	8	0	2	0	45	0	0	0	0	0
TOTAL	0	4	44	182	111	108	92	179	0	0	0	0
N° DIAS LLUVIA	0	1	5	10	12	8	7	15	0	0	0	0
MAXIMA	0	4	24	76	32	68	45	44	0	0	0	0

Tabla 19. Precipitación Mensual Estación Quinta

PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA**VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN**

ESTACIÓN: QUINTA

AÑO: 2012

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VALOR ANUAL
2008	0	7	140	87	219	116	111	208	232	218	503	22	1863
2009	50	18	103	81	187	101	118	251	22	111	203	143	1388
2010	0	45	258	50	379	225	369	225	302	385	383	205	2826
2011	25	59	114	140	357	138	249	144	197	477	194	84	2178
2012	0	4	42	184	108	106	82	150	0	0	0	0	676
MEDIOS	15	27	131	108	250	137	186	196	151	238	257	91	1786
MAXIMOS	50	59	258	184	379	225	369	251	302	477	503	205	503
MINIMOS	0	4	42	50	108	101	82	144	0	0	0	0	0

Tabla 20. Precipitación Mensual Estación Fábrica

PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA**VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN**

ESTACIÓN: FÁBRICA

AÑO: 2012

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VALOR ANUAL
2008	0	0	129	73	255	140	87	184	359	149	443	61	1880
2009	58	1	78	83	193	73	87	205	38	171	195	138	1320
2010	0	34	235	35	303	185	293	169	318	370	336	220	2498
2011	6	28	69	82	256	124	209	111	201	370	196	105	1757
2012	0	4	44	182	111	108	92	179	0	0	0	0	720
MEDIOS	13	13	111	91	224	126	154	170	183	212	234	105	1635
MAXIMOS	58	34	235	182	303	185	293	205	359	370	443	220	443
MINIMOS	0	0	44	35	111	73	87	111	0	0	0	0	0

La estaciones de la finca palmará LTDA. No poseen equipos para medir la evaporación. Entonces se toman los datos de evapotranspiración de Palmas Montecarmelo S.A. porque se consideran representativos para esta zona.

Tabla 21. Evapotranspiración Palmas Montecarmelo SA.

VALORES TOTALES MENSUALES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN

ESTACIÓN: PALMAS MONTECARMELO S.A.

AÑO: 2012

MES	ETc. Min	ETc. Med	ETc. Max
[No.]	[mm/día]	[mm/día]	[mm/día]
ENE	2.42	3.21	5.15
FEB	2.63	4.10	7.15
MAR	2.60	5.66	8.87
ABR	1.63	3.72	5.20
MAY	2.36	3.62	4.94
JUN	2.34	4.05	5.22
JUL	2.25	4.28	5.65

7. CONCLUSIONES

Según la clasificación de la velocidad de infiltración para los lotes de estudio se encontró que el mayor valor de la infiltración básica corresponde a una tasa de infiltración moderada.

Las bajas tasas de entrada y movimiento de agua dentro del suelo, se induce que es poca el agua que entra al perfil del suelo como producto de la elevada mecanización que ha desencadenado en un proceso de compactación.

El riego por surcos en calle de palera presenta ventaja frente al que se hace en la calle de cosecha en cuanto a que cuando se ejercen las labores de cosecha no presentan impedimento para llevar a cabo el riego.

La fracción de área a la cual se le está aplicando riego por surcos alternos ya sea en calle de palera o en calle de cosecha corresponde a un 30 % de la totalidad del área.

El caudal utilizado en el riego por inundación alcanza valores por encima de los 1000 metros cúbicos por evento realizado en una hectárea, mientras en el riego por surcos alternos este volumen se encuentra alrededor de los 300 metros cúbicos por hectárea.

Los surcos anchos no obstaculizan las labores de limpieza de maleza ni las de recolección del fruto.

El rendimiento por trabajador del riego por surcos anchos es mayor frente al del riego tradicional, arrojando productividades de 8 Ha-día para el primero y 1.5 a 2 Ha-día para el segundo

8. RECOMENDACIONES

Debido a la constante mecanización (tractor y carro búfalo), se recomienda hacer un arado vertical como el arado de cincel para fracturar o romper el suelo compactado y así permitir aumentar la porosidad y la infiltración del agua.

Para hacer mediciones de caudal en los canales que tengan mayor precisión se recomienda utilizar aforadores portátiles como el tipo RBC.

La correcta distribución de la hoja cortada en el surco en calle de palera contribuye a conservar la humedad en el suelo, ya que esta evita el contacto directo de los rayos solares con la superficie del terreno.

9. BIBLIOGRAFÍA

Arias, N. (2009). Principios Agronómicos Para El Establecimiento De Una Plantación De Palma De Aceite. Cenipalma. Pág. 21

Avella, A. (1992). Evaluación y manejo del riego por surcos. Colombia. Pág. 110

Cifuentes, M. (2006). Instalación, administración, operación y mantenimiento, proyectos de irrigación a pequeña escala. Pág. 31

Dahlan, 1997. Referenciado por Ditschar, b. et al. La Palma De Aceite En América Central Y América Del Sur. Pág. 25.

Grassi (1972). Referenciado por Tafur, H. (1992). Evaluación del riego por surcos.

Lambourne, 1935. Referenciado por Siewkee, Ng et, al. 2012. Aspectos Botánicos De La Palma De Aceite Pertinentes Al Manejo Del Cultivo.

Tafur, H. (1992). Evaluación del riego por surcos. Pág. 5

Paramanathan, S. (2012). Palma De Aceite Manejo Para Rendimientos Altos Y Sostenibles. Referenciado por Fairhurst, T. et. al. Selección de tierras para la palma de aceite. Pág. 47