



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMIA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Efecto de tres láminas de riego por goteo en época seca sobre el estímulo de la floración y producción de café (*Coffea arábica* L. var. CATRENIC), Finca San Dionisio, San Marcos, Carazo 2013.

Elaborado por:

Br. Gustavo Josué Cortez Mojica
Br. Jonathan Josué Tercero Mercado

Asesores:

Ing. Henry Alberto Duarte Canales
Ing. MSc. Rodolfo Munguía Hernández
Dr. Víctor Aguilar Bustamante

Managua, Nicaragua

Octubre de 2014



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMIA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Efecto de tres láminas de riego por goteo en época seca sobre el estímulo de la floración y producción de café (*Coffea arábica* L. var. CATRENIC), Finca San Dionisio, San Marcos, Carazo 2013.

Elaborado por:

Br. Gustavo Josué Cortez Mojica
Br. Jonathan Josué Tercero Mercado

Asesores:

Ing. Henry Alberto Duarte Canales
Ing. MSc. Rodolfo Munguía Hernández
Dr. Víctor Aguilar Bustamante

Trabajo presentado a la consideración del honorable tribunal examinador para optar al título de Ingeniero Agrónomo e Ingeniero Agrícola para el Desarrollo Sostenible respectivamente

Managua, Nicaragua
Octubre de 2014

ÍNDICE GENERAL

	Página
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	iv
INDICE DE ANEXOS	v
RESUMEN	vi
SUMMARY	vii
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS	3
III MATERIALES Y METODOS	4
3.1 Ubicación del experimento	4
3.2 Variables climatológicas	4
3.3 Caracterización física- química de suelo	5
3.4 Diseño experimental	5
3.5 Material Genético	5
3.6 Manejo agronómico del experimento	6
3.7 Descripción de los tratamientos	7
3.8 Variables evaluadas	8
3.8.1 Parámetros hidrofísicos del suelo	8
3.8.2 Variables de crecimiento vegetativo	11
3.8.3 Variables de fructificación	11
3.8.4 Variables de producción	12
3.8.5 Análisis económico	13
3.9 Análisis de datos	14
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
4.1 Parámetros hidrofísicos para el manejo de riego por goteo	15
4.1.1 Velocidad de infiltración del suelo	15
4.1.2 Niveles de humedad de suelo	16
4.1.3 Capacidad de campo	18

4.1.4	Densidad Real (Da) y Densidad Aparente (Da)	19
4.1.5	Porosidad del suelo	19
4.2	Crecimiento Vegetativo	20
4.2.1	Área Foliar del Café	20
4.2.2	Nudos y Crecimiento de Bandola	21
4.2.3	Derrame productivo del café	23
4.2.4	Calidad física del grano uva de café	26
4.3	Producción de Grano	28
4.3.1	Rendimiento del Grano	28
4.4	Análisis Económico	29
4.4.1	Análisis de Presupuesto Parcial	29
4.4.2	Relación Beneficio Costo	31
V	CONCLUSIONES	33
VI	RECOMENDACIONES	34
VII	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	35
VIII	ANEXOS	41

DEDICATORIA

El presente trabajo representa la culminación del esfuerzo por alcanzar una de las metas de mi vida que es obtener el grado profesional de Ingeniero Agrónomo.

Primeramente se lo dedico a Dios todopoderoso quien me da la vida y brinda las fuerzas para superar todos los obstáculos que se me presentan y por bendecirme al permitirme graduarme.

A mi padre y ahora colega ***Gustavo Adolfo Cortez*** quien con dedicación y esfuerzo me ha brindado su apoyo incondicional en todos los momentos que lo he necesitado y para quien este trabajo tiene gran valor.

A mi madre ***Rosibel Mojica***, que siempre me infundió el deseo de superación y me brindó siempre su apoyo incondicional.

Br. GUSTAVO JOSUÉ CORTEZ MOJICA

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso y a la Santísima Virgen por derramar sus bendiciones sobre mí y llenarme de fuerzas para vencer todos los obstáculos desde el principio de mi vida.

A mi madre ***Gigliola Tercero*** por ser la amiga y compañera que me ha ayudado a crecer, Por todo el sacrificio y esfuerzo para que yo coronara mi carrera universitaria, por brindarme siempre su apoyo incondicional, comprensión, y confianza en todos los momentos de mi vida.

A mis abuelos ***Olga Mercado*** (Q.E.P.D) y Luis Tercero, que con la sabiduría de Dios me han enseñado a ser quien soy hoy. Gracias por su paciencia, por enseñarme el camino de la vida, gracias por sus consejos, por el amor que me han dado y por tu apoyo incondicional en mi vida.

A mis tíos ***Gonzaga Tercero*** y ***Martha Vargas***, ellos fueron un pilar muy importante para mi superación personal y lograr culminar mi carrera.

Br. JONATHAN JOSUÉ TERCERO MERCADO

AGRADECIMIENTOS

A Dios

A nuestros padres

A nuestros asesores **Ing. Henry Alberto Duarte** por habernos brindado su amistad y mostrar disposición y dedicación para que este trabajo hoy sea una realidad, **Ing. Msc. Rodolfo Munguía Hernández** por habernos brindado su amistad, apoyo en todas las etapas que comprendieron la realización de este trabajo, compartir su experiencia, conocimientos y por su gran disposición que le caracteriza y al **Dr. Víctor Aguilar Bustamante** por sus observaciones y apoyo en el análisis e interpretación de los datos.

Al proyecto **CAFADAPT** quien financió nuestra investigación e hizo posible la ejecución y finalización de este trabajo de investigación.

A **INGESA** por permitirnos el establecimiento y ejecución del ensayo en su finca.

Al **Ing. David López** por su buena voluntad para aclarar nuestras inquietudes con respecto al riego.

Al **Lic. Msc. Freddy Arguello** por sus orientaciones y consejos para realizar el análisis económico de nuestra investigación.

Al **Ing. Msc. Roberto Blandino** por habernos brindado su amistad, apoyo incondicional y su interés mostrado para con este trabajo.

Br. GUSTAVO JOSUÉ CORTEZ MOJICA
Br. JONATHAN JOSUÉ TERCERO MERCADO

ÍNDICE DE CUADROS

	Tema	Página
Cuadro 1	Resultado del análisis físico químico de suelo (LABSA, UNA, 2013)	4
Cuadro 2	Manejo agronómico de las parcelas experimentales, finca San Dionisio, San Marcos, Carazo, 2013.	4
Cuadro 3	Descripción de los tratamientos.	15
Cuadro 4	Influencia de los diferentes niveles de riego sobre el área foliar del café.	17
Cuadro 5	Influencia del riego sobre el crecimiento vegetativo del café	17
Cuadro 6	Calidad física del grano uva de café	18
Cuadro 7	Rendimiento en Kg Ha ⁻¹ y relación uva pergamino de los tratamientos evaluados	18
Cuadro 8	Análisis de presupuesto parcial para los cuatro tratamientos evaluados. San Marcos, Carazo, 2013.	24
Cuadro 9	Análisis de utilidades y relación beneficio costo	29

ÍNDICE DE FIGURAS

	Tema	Página
Figura 1	Ubicación del ensayo, municipio de San Marcos, Carazo.	5
Figura 2	Rango de temperatura y precipitación de Enero a Diciembre 2013. Finca San Dionisio, San Marcos, Carazo.	6
Figura 3	Velocidad de infiltración e infiltración acumulada del suelo. Finca San Dionisio, San Marcos, Carazo, 2013.	7
Figura 4	Niveles de humedad en el testigo (0 mm)	20
Figura 5	Niveles de humedad en el tratamiento T1 (10 mm)	21
Figura 6	Niveles de humedad en el tratamiento T2 (20 mm)	27
Figura 7	Niveles de humedad T3 en el tratamiento (30 mm)	29
Figura 8	Desprendimiento de fruto durante el desarrollo fenológico del café.	30
Figura 9	Influencia del riego sobre el rendimiento del café en grano oro	32

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Tema	Página
Anexo 1	Datos de campo de prueba velocidad de infiltración	43
Anexo 2	Cálculos para la obtención de la velocidad de infiltración	44
Anexo 3	Ecuaciones utilizadas para obtención del modelo de V.I	45
Anexo 4	Cálculos de la VI usando el método de Kostiakov	46
Anexo 5	Nivel de humedad T4 (0 mm)	47
Anexo 6	Nivel de humedad T1 (10 mm)	47
Anexo 7	Nivel de humedad T2 (20 mm)	47
Anexo 8	Nivel de humedad T3 (30 mm)	47
Anexo 9	Cálculo de las necesidades hídricas	48
Anexo 10	Cálculos de pérdidas por fricción	49
Anexo 11	Niveles de productividad de café oro/mz	50
Anexo 12	Plano de campo y distribución de los tratamientos	50
Anexo 13	Delimitación de cuadrículas para niveles de humedad	51
Anexo 14	Sensor electrónico de humedad modelo MP 406	51
Anexo 15	Morfología y distribución de raíces de una planta de Coffea arabica L. Suarez de Castro (1953)	52
Anexo 16	Bulbo de humedecimiento del riego por goteo según el tipo de suelo CENTA (2013)	52
Anexo 17	Costo de producción de la finca San Dionisio, San Marcos, Carazo, 2013	53
Anexo 18	Prueba de campo de uniformidad de aplicación de riego	55
Anexo 19	Distribución de sitios de muestreo para el cálculo de uniformidad de riego	56
Anexo 20	Equipos utilizados para medición de variables edafoclimáticas	57
Anexo 21	Establecimiento del sistema de riego en finca San Dionisio	57
Anexo 22	Cuantificación de flores y medición de crecimiento de bandolas	58
Anexo 23	Cuantificación de yemas, flores y frutos	58
Anexo 24	Costo total de cada tratamiento en 1 hectárea.	58

Efecto de tres láminas de riego por goteo en época seca sobre el estímulo de la floración y producción de café (*Coffea arabica* L. Var. CATRENIC), Finca San Dionisio, San Marcos, Carazo 2013.

**Cortez Mojica G. J.
Tercero Mercado J. J.**

RESUMEN

El cultivo de café es el principal rubro de exportación de Nicaragua, así mismo es vulnerable ante la amenaza de cambio climático. Según modelos climáticos predicen que para el año 2050 habrá un aumento de temperaturas en 3 °C por tal razón es necesario evaluar alternativas ante esta situación. El uso de sistema de riego en países como Brasil y Cuba ha mostrado resultados alentadores en cuanto a productividad y rentabilidad económica. Actualmente en Nicaragua, se ha iniciado a evaluar dicha estrategia para enfrentar los probables efectos climáticos. Se estableció el experimento en la finca “San Dionisio” ubicada en el municipio de San Marcos, departamento de Carazo en las coordenadas 11° 53' 80” LN y 86° 14' 05” LO con el propósito de evaluar el crecimiento, desarrollo y producción de café bajo tres niveles de agua de riego por goteo en época seca. Las variables evaluadas fueron desprendimiento de frutos, índice de área foliar, crecimiento de bandolas, formación de nudos potenciales y producción. El diseño experimental fue un bloque completo al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, a todas las variables se les realizó un ANDEVA y la prueba de rangos múltiples de Tukey con un nivel de desconfianza del 5 %. Los resultados obtenidos demuestran que el riego por goteo tiene influencia y favorece el crecimiento vegetativo, la formación de estructuras productivas y productividad, para esta última el nivel de 20 mm fue el que obtuvo un mayor rendimiento. Los tratamientos que se regaron tienen un mayor porcentaje de derrame productivo que el testigo.

Palabras clave: *Cambio climático, Láminas de riego, Catrenic, Riego por goteo, Coffea arabica.*

Effect of three sheets of drip irrigation in the dry season on the stimulation of flowering and coffee production (Coffea arabica L. Var. CATRENIC), Finca San Dionisio, San Marcos, Carazo 2013.

**Cortez Mojica G. J.
Tercero Mercado J. J.**

SUMMARY

The cultivation of coffee is the main export of Nicaragua, also crop is vulnerable to the threat of climate change. According to climate models predict that by 2050 there will be an increase in temperature by 3 ° C for this reason it is necessary to evaluate alternatives to this situation. The use of irrigation in countries like Brazil and Cuba has shown encouraging results in terms of productivity and profitability. Currently in Nicaragua, has begun to evaluate the strategy to meet the probable climatic effects. The experiment was established on the farm "San Dionisio" in the municipality of San Marcos, Carazo department at coordinates 11 ° 53 '80' and 86 ° 14'05 LN 'LO in order to evaluate the growth, development and production of coffee under three levels of drip irrigation water in the dry season. The variables evaluated were peeling fruit, leaf area index, growth bandolas, formation of knots and production potential. The experimental design was a randomized complete block with four treatments and four replications, all variables were performed ANOVA and multiple range test of Tukey with a level of confidence of 5%. The results show that irrigation has influence and favors the formation of potential knots, leaf area index, formation of knots and performance potential for the latter the level of 20 mm was obtained higher yields than treatments that they have a higher percentage watered productive spill than the control.

Keywords: *Climate change, irrigation depths, Catrenic, Drip irrigation, Coffea arabica.*

I. Introducción

El cultivo de café en Nicaragua, se produce en unas 126,647.73 ha, siendo el departamento de Jinotega el de mayor área (34.57 %), le sigue Matagalpa (25.29 %), Nueva Segovia (13.9 %), localizados en el norte del país; mientras que en el Pacífico con 6.68 % siendo con una mayor extensión el departamento de Carazo (3.7 %) (INIDE, 2011).

Estadísticas mostradas por CETREX (2013), mostraron que se exportó un total de 2,374,860 qq oro (118,743 Tm). En el año 2013 las exportaciones del país, de enero a mayo acumularon un total de 57,041 Tm equivalente a 1,140,820 qq/oro.

Actualmente, se considera que el fenómeno del cambio climático es un hecho y su intensidad e impacto tiene variaciones considerables en las diferentes regiones. La agricultura mundial tendrá que enfrentar muchos retos porque un calentamiento por encima de 2.5 °C puede afectar la oferta mundial de alimentos, así como también el precio (FAO, 2009).

Nicaragua, es el quinto país del mundo de mayor vulnerabilidad al cambio climático, debe adaptarse a ese fenómeno para proteger, sobre todo, al sector agropecuario que genera más del 60 % de las exportaciones, y aporta el 18 % del Producto Interno Bruto, PIB (El Nuevo Diario, 2012). El cultivo que corre mayor riesgo es el café, que según un informe del Ministerio Agropecuario y Forestal, MAGFOR, para el año 2050 la zona dedicada al cultivo se reducirá en un 60 % (CATIE, 2012).

Por su parte Molieri (2013) indica que el escenario del cambio climático significará que habrá temperaturas que superen los 30 °C, siendo el óptimo para la planta de café una temperatura de 25 °C, así como, a un aumento en la intensidad de la radiación solar. En las condiciones climáticas actuales, la planta experimenta una mayor tasa fotosintética, por lo que demanda más agua. Los impactos negativos estarán obligando a los productores a buscar lugares que provean mejores condiciones ecológicas al crecimiento, desarrollo y fructificación del cafeto.

La niveles de productividad en los últimos 10 años ha sido muy irregular teniendo altos y bajos muy pronunciados, parte de esto se debe al fenómenos de cambio climático (Munguía & Gutiérrez, 2013).

Las acciones sugeridas por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (2012) en el marco de la realización del foro “Agricultura y Ganadería: Adaptarnos hoy para garantizar el mañana” recomiendan que para enfrentar los impactos del cambio climático en la caficultura se deben de considerar: Conocer las predicciones a corto plazo sobre el clima, Desarrollar resiliencia en los sistemas de producción, riego para uniformar y mantener las floraciones, adaptación a largo plazo de nuevas variedades y la diversificación de sistemas de producción.

Para mitigar el impacto del cambio climático en la caficultura, se han planteado tres elementos técnicos a trabajar: el primero es el desarrollo de nuevas variedades con una mayor eficiencia productiva y adaptadas a las condiciones ambientales de mayor temperatura; un segundo elemento es el manejo de la sombra, considerando que el microclima que se provoca por la presencia de árboles es de 2 a 4 °C; un tercer elemento es el uso de riego, debido al déficit o a la irregularidad de las lluvias.

La Universidad Nacional Agraria, realiza un esfuerzo técnico a través de un proceso de investigación con el manejo de agua por medio de riego por goteo de un sistema de café convencional en el Municipio de San Marcos (finca San Dionisio). Dicho trabajo tienen como propósito los siguientes objetivos:

II. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

- Evaluar Efecto de tres láminas de riego por goteo en época seca sobre el estímulo de la floración y producción de café (*Coffea arábica* L. var. CATRENIC), Finca San Dionisio, San Marcos, Carazo 2013.

Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo para el manejo de riego por goteo en la finca San Dionisio, San Marcos.
- Conocer el efecto de tres láminas de riego por goteo sobre el derrame productivo del café.
- Determinar el efecto de tres láminas de riego por goteo sobre el crecimiento vegetativo y productividad del café.
- Realizar análisis económico del establecimiento de riego por goteo en café ubicado en el municipio de San Marcos, departamento de Carazo.

III. Materiales y Métodos

3.1. Ubicación del experimento

El estudio se realizó en la zona cafetalera del Pacífico de Nicaragua, localizado en la finca San Dionisio, Municipio de San Marcos, Departamento de Carazo, cuyas coordenadas son 11° 53' 80" LN y 86° 14'05" LO, a una altitud de 525 msnm y un rango de temperaturas que oscilan entre 27-37 °C (INETER, 2013)

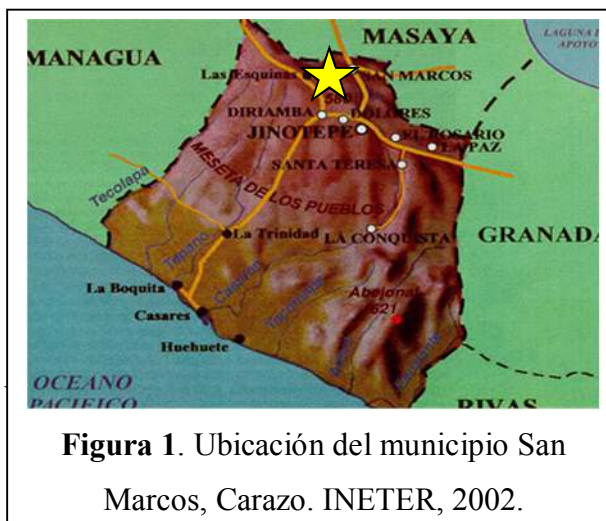


Figura 1. Ubicación del municipio San Marcos, Carazo. INETER, 2002.

3.2. Variables climatológicas

El periodo lluvioso en el año 2013 fue muy favorable considerando la cantidad de precipitaciones, acumulando un total de 1 301.75 mm en el año. El mes donde hubo una mayor precipitación fue en septiembre con 343.41 mm. Las temperaturas para la zona de estudio oscilaron entre los 20 y 28°C, Mayo y Junio fueron los meses donde se registraron las temperaturas más altas, del mes de Septiembre a Diciembre se experimentaron temperaturas mínimas de 22 y máximas de 26°C.

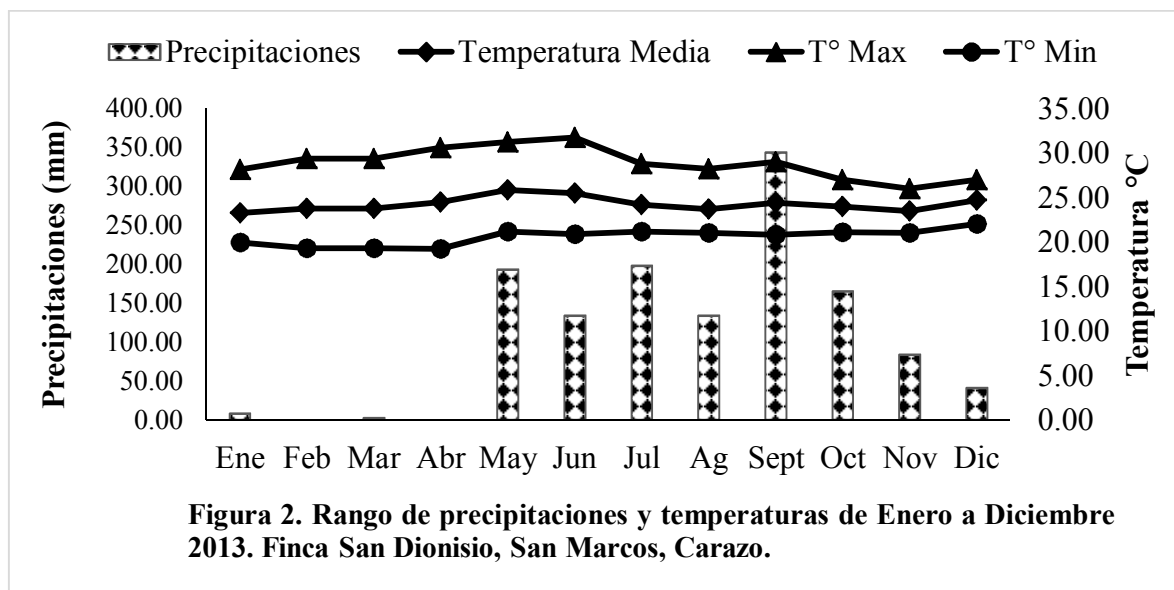


Figura 2. Rango de precipitaciones y temperaturas de Enero a Diciembre 2013. Finca San Dionisio, San Marcos, Carazo.

3.3. Caracterización físico-química del suelo

Según los resultados determinados por el Laboratorio de Suelo de la Universidad Nacional Agraria (UNA), el pH es medianamente ácido (6.12), el contenido de materia orgánica es Alto (7.1%), el Nitrógeno Alto (0.36%), el Fósforo es Pobre (5.43 Ppm), el Potasio Alto (0.80 Meq/100 g), el suelo es Franco arenoso (21.2 % Arcilla, 24.66 % Limo, 54.13 % arena). (Cuadro 1). Según Israelsen & Hansen (1979), indican que los suelos con un alto porcentaje de arena son los que tienen menor capacidad de retención de agua.

Cuadro 1. Resultados de análisis químico de suelo (Laboratorio de Suelos y Agua, UNA, 2013).

pH	MO	N	P	K	Partículas (%)		
(H₂O)	%	%	Ppm	(Meq/100g)	Arcilla	Limo	Arena
6.12	7.1	0.36	5.43	0.80	21.2	24.66	54.13

3.4. Diseño Experimental

Los tratamientos que conformaron el ensayo fueron distribuidos en un diseño de bloques completos al azar (BCA), formado por cuatro bloques. Cada una de los bloques estaba constituida por cuatro parcelas, cuyas dimensiones fueron 8 m x 9 m (72 m²), para un total en todo el experimento de campo de 1,152 m² en todo el experimento de campo.

El área de cada una de las parcelas experimentales, están formados por cuatro surcos separados entre sí de 2 m entre surco y 0.9 m entre planta, para un total de 44 plantas de café. La parcela útil estaba conformada por los dos surcos centrales, menos dos planta de borde. Cada uno de los tratamientos de riego más el testigo sin riego por goteo fueron distribuidos al azar en cada uno de los bloques.

3.5. Material genético o experimental.

El material experimental utilizada fueron plantas de café de la variedad Caturra Revolución Nicaragua (Catrenic). Su origen genético es a partir de un cruce realizado en el Centro de Investigaçao das Ferrugens do Cafeeiro en Oeiras Portugal (C.I.C.F), entre los materiales HW 26. 19/1 Caturra rojo por 832/1 H.T.13, el cual fue introducido a Nicaragua en el año 1971 de Glendale, Maryland, EE.UU. en generación F2 y que a través de selección individual, realizada por el centro se logró obtener un material con buenas características agronómicas (Baylon y Pizzi, 1994).

Aunque fue desarrollada para las zonas bajas y secas 6 meses sin lluvias, 1,250 mm y 450 msnm) del Pacífico de Nicaragua, se adapta bien a alturas de 1,000 msnm. La variedad Catrenic es genéticamente cercana al material T-5175 que originó las variedades IHCAFE-90 y MIDA-96 (Bertrand *et al.*, 1999).

Las plantas de la variedad Catrenic presentan un porte intermedio (mayor a Catuaí), buen vigor, entrenudos cortos y bandolas largas que producen palmillas secundarias y terciarias. El rendimiento de la variedad, en condiciones del Pacífico de Nicaragua, es de 14 a 24 qq oro/mz. Las características organolépticas de Catrenic son buenas. Las evaluaciones realizadas en diversos ensayos señalan que 80 a 85 % de los granos tienen el tamaño 16/64.

3.6. Manejo agronómico del experimento

La edad de la plantación al momento del establecimiento y ejecución del estudio era de 6 años. El manejo agronómico que se realizó en las parcelas experimentales fue el que la administración de la finca había planificado para el lote en el que se ejecutó el ensayo. Este manejo fue convencional con alto nivel de insumos con una cobertura de sombra del 20 %. Se programaron labores de control de plagas y enfermedades, control de maleza y fertilización (Cuadro 2).

Cuadro 2. Manejo agronómico de las parcelas experimentales, Finca San Dionisio, San Marcos, Carazo, 2013.

Fecha	Herbicidas	Dosis (l/ha)	Fecha	Fertilizante Granulado	Dosis (kg/ha)
07/06/2013	Raundup	0.7	04/05/2013	Formula especial	193
	2-4-D	0.7		Fertilizante Foliar	
	Gramoxone	1.4	16/08/2013	Aminofol	0.29
Insecticida		Dosis (l/ha)		Omex	0.85
22/02/2013	Lorsban	1.3		Nutriente Verde	0.71
	Endosulfan	1.3		Urea	6
Fungicida		Dosis (l/ha)		Calcio	0.71
25/05/2013	Duett	0.58		Tropical	0.49
	Alto	0.28		NPK	0.71

3.7. Descripción de los tratamientos

Para el estudio de riego por goteo en el cafetal se establecieron tres diferentes láminas de agua aplicadas durante el final de la época seca, a partir de la tercera semana de abril. En el Cuadro 3, se indican los tratamientos en estudio.

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Láminas de riego (mm)	Litros por planta por día
T1	10	8.67
T2	20	17.4
T3	30	25.5
Testigo	0	0

Para garantizar la aplicación de las dosis correctas de riego para cada tratamiento, se aforó el sistema de riego y se tomaron como muestras tres emisores, cuantificando la cantidad de agua que emite por hora. Para realizar este procedimiento utilizamos un recipiente donde se fue depositando el agua del emisor en una hora, luego se utilizó un beaker para medir la cantidad de agua suministrada por cada emisor, para finalmente hacer los cálculos de los tiempos de riego.

3.8. Variables a medir

3.8.1. Parámetros físicos e hidráulicos del suelo

3.8.1.1. Infiltración del suelo

La determinación de infiltración se efectuó en las condiciones de humedad del suelo en que se efectuara el riego para obtener valores confiables. Debido a los múltiples factores que inciden en su determinación y a la variabilidad espacial, las pruebas de infiltración se efectuaron en varios puntos del terreno en estudio, el método empleado para determinar la velocidad de infiltración fue a través del infiltrómetro de doble anillos, se empleó un cilindro de 60 cm de diámetro y 30 cm de altura y otro cilindro de 30 cm de diámetro y 30 cm de altura, los que se instalaron en forma concéntrica; en el cilindro interior se efectuaron las mediciones mientras que el cilindro exterior tiene como objetivo evitar el flujo radial del agua durante la prueba de infiltración.

La instalación de los cilindros en terreno fue cuidadosa, de modo de alterar el mínimo posible el suelo ya que de ocurrir esto se distorsionan las medidas de infiltración; Los materiales utilizados para efectuar las pruebas de infiltración aplicando el método del infiltrómetro de doble cilindro fueron: un trozo de madera, un balde, una regla graduada en cm y mm, cronómetro, pala, balde, un trozo de plástico y la hoja de registro.

Las pruebas de doble cilindro se realizaron de cero a un metro del perfil de suelo con tres repeticiones al mismo tiempo ubicando los cilindros externos e internos en la superficie de suelo limpiándola adecuadamente no alterando la naturaleza de la superficie del suelo , introduciendo los dos aparatos paralelamente a una profundidad promedio de 5 a 10 cm, con la ayuda de un martillo de tamaño de 60 cm con un peso de 15 lb y una cruz ubicada arriba de los dos cilindros de manera que se introdujera a la misma profundidad tratando de no alterar las condiciones del suelo.

Una vez colocado se vertió el agua de manera que no haga un contacto directo al suelo usando un plástico de 80 cm² haciendo que el agua llegue directamente al plástico y luego de manera dúctil se incorpore al suelo. Establecido el sistema, se recopilan datos correspondientes como la profundidad de agua en el cilindro externo e interno, luego con una boya graduada en cm se toman datos de la profundidad que el nivel del agua alcanza en el anillo interno con intervalos de lecturas de 5 lecturas cada 1, 5, 10, 20 y 30 min, hasta alcanzar un flujo casi estacionario.

3.8.1.2. Manejo del riego

- **Tiempo de riego:**

Utilizamos la ecuación descrita por Marrero (2006); quien recomienda calcular el tiempo de riego de la siguiente manera:

$$Tr = \frac{Dosis}{qe \times Ne}$$

Dónde:

Tr: Tiempo de riego

qe: Caudal del emisor

Ne: Número de emisores

- **Niveles de humedad**

Al ras de la cinta de goteo por cada tratamiento se realizó una calicata con una dimensión de 1 m de largo x 0.4 m de ancho x 0.6 m de profundidad. En el perfil del suelo se dividirá en cuadrículas de 0.04 m² (Anexo 11). En cada cuadrícula se midió la humedad presente con un sensor de humedad electrónico modelo *MP406* (Anexo 12).

- **Capacidad de campo**

Según Marrero (2006), un suelo se encuentra en capacidad de campo (*Cc*) cuando se experimenta un equilibrio temporal entre el potencial mátrico (Ψ_m) y el potencial gravitatorio (Ψ_g). También define la capacidad de campo como el estado o nivel de humedad que alcanza un suelo saturado cuando ha cesado el drenaje interno del mismo. Esta variable se puede determinar de dos maneras: Método directo y Método de laboratorio. Se determinó a través del método de la olla de Richard en el Laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria (LABSA).

- **Densidad real**

Expresa el peso del suelo y está referido a la densidad de las partículas sólidas que lo componen, y es simplemente el peso de la parte sólida, entre el volumen que esta ocupa; el resultado se obtiene en gramos por centímetros cúbicos. Se determinó mediante un muestreo de suelo en el campo y posteriormente se analizarán en el laboratorio de suelo de la Universidad Nacional Agraria. La fórmula que se utilizará para calcular la densidad real es la siguiente:

$$Dr = \frac{G}{Vs}$$

Dónde:

G: Es el peso de la parte sólida.

Vs: Volumen ocupado por el sólido.

- **Densidad Aparente**

Es la relación existente entre el peso de una porción de suelo y su volumen, incluyendo en este el ocupado por los poros. La fórmula que se utilizó para calcular la densidad real es la siguiente:

$$Da = \frac{G}{Vt}$$

Dónde:

G: Es el peso de la parte sólida.

Vt: Es el volumen total ocupado por el suelo.

- **Porosidad del suelo**

Los terrenos arenosos son ricos en macroporos, permitiendo una rápida infiltración del agua, pero tienen una muy baja capacidad de retener el agua, mientras que los arcillosos son ricos en microporos y pueden manifestar una escasa aeración, pero tiene una elevada capacidad de retención del agua. Esta variable se determinó mediante de la fórmula, una vez obtenida la densidad aparente y la real:

$$P = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) \times 100 = \%$$

Dónde:

Da: Densidad aparente

Dr: Densidad real

3.8.2. Variables de crecimiento vegetativo

Cada parcela experimental tiene un total de 22 plantas de las cuales se marcaron al azar 10, en cada una de ellas se seleccionaron 6 bandolas al azar (2 de la parte alta, 2 de la parte media y 2 en la parte baja) por tratamiento de donde se tomaron los datos para evaluar las variables de crecimiento y desarrollo.

- **Área foliar (m²)**

Se contabilizó el número total de hojas de las plantas, y cada 20 hojas se procedió a medir el largo por el ancho de la hoja en mm. Luego se ingresaron los datos en una tabla de Excel predefinida en donde se calculó el área foliar mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Área Foliar} = \frac{\text{Largo} \times \text{ancho}}{100} \times 0.7243 + 2.8$$

Luego de calcular el área foliar de cada hoja medida se calculó un promedio para cada planta y después se multiplicó por el número total de hojas, luego se calculó un promedio para cada tratamiento.

- **Longitud de la bandola (cm)**

Se seleccionaron 10 plantas por tratamiento y se midió la longitud de seis bandolas al azar (2 en la parte alto, 2 en la parte media y 2 en la parte baja) con una cinta métrica.

- **Nudos potenciales**

Se contaron los nudos nuevos de las bandolas de las plantas a muestrear.

- **Nudos potencialmente productivos**

Se contabilizó el número total de nudos potencialmente productivos correspondiente a las bandolas en las que se midió el crecimiento plagiotrópico.

3.8.3. Variables de Fructificación

Se seleccionaron seis plantas por cada una de las parcelas experimentales, en la que se seleccionaron seis bandolas al azar (2 en la parte alto, 2 en la parte media y 2 en la parte baja).

- **Derrame productivo o purga del cafeto**

Es un proceso natural que consiste en el desprendimiento de flores y frutos verdes durante el ciclo productivo y se ve influenciado por las condiciones ambientales, disponibilidad de nutrientes y fisiología de la planta. Para la estimación de esta variable se calculó el porcentaje de caída desde la etapa de yemas florales, luego flores y se realizaron cinco conteos de frutos antes de la cosecha, de esta manera se logró observar el porcentaje del derrame productivo de los cuatro tratamientos.

- **Número de Yemas florales**

Se contaron el número total de yemas por bandolas productivas de seis plantas de café.

- **Número de flores abiertas**

Se contaron el número total de flores por bandolas durante el período de floración ocurrida 8 a 10 días después de la aplicación de riego por goteo (15 de abril 2013) y para el caso del testigo 10 días después de la ocurrencia de las primeras lluvias el 10 de mayo del 2013 en las plantas de café.

- **Número de frutos**

Se realizaron cinco conteos de número de frutos totales en cada una de las bandolas en las plantas de café, desde su estado inicial de desarrollo (canica) hasta la maduración del fruto, dicho muestreo se realizó cada mes.

- **Nudos productivos**

Se contó el número de nudos productivos totales por bandolas en cada una de las plantas de muestra.

3.8.4. Variables de producción

Se cosecharon un total de 18 plantas por tratamiento correspondientes a los dos surcos centrales, en la que se cortaron y recolectaron los frutos maduros rojitos, los que fueron pesados en una balanza analítica 0.1 g de precisión.

- **Producción de grano uva en kg por parcela útil**

Después del corte de los granos maduros de café uva se pesaron por tratamiento de cada unidad experimental y se totalizaron en el periodo de cosecha sumando las cantidades de grano uva por fechas de corte.

- **Relación grano uva a pergamino**

Para calcular la relación uva pergamino se tomaron cuatro muestras de 2000 g de grano uva por cada tratamiento. Estas muestras fueron despulpadas, fermentadas, lavadas y secadas en un cuarto a temperatura ambiente durante dos meses hasta que obtuvieron un porcentaje de humedad del 12 %. Luego se dividió el peso final (pergamino seco) entre el peso inicial (uva).

- **Rendimiento de grano pergamino seco en kg ha⁻¹**

Se obtuvo a partir de la aplicación del factor de conversión (relación grano uva a grano pergamino) alcanzado en las pruebas de rendimiento realizadas a muestras por tratamiento.

- **Rendimiento estimado de grano oro en kg ha⁻¹**

ANACAFE, (2011) demostró que la cascarilla suelta o pergamino representa el 5 % del peso total de grano de café. Tomando en consideración este valor se estimó el rendimiento en grano oro para todos los tratamientos evaluados.

- **Número de granos uva por libra**

Se tomó una muestra de una libra de café grano uva por tratamiento y por réplica y se contabilizaron el número total de granos maduros que están presentes en dicho peso.

- **Porcentaje de grano dañado (%)**

De la misma muestra (1 lb. grano uva) se tomó una submuestra de 100 frutos y se contabilizó el número de granos dañados por insectos, enfermos y condiciones de clima para cada uno de los tratamientos. Se consideran los frutos dañados los chasparreados, brocados y flotados así como los granos verde, los que se anotaron de forma independiente.

3.8.5. Análisis Económico

Fue utilizada una herramienta de análisis económico denominada “Metodología de Presupuestos Parciales” desarrollada por CIMMYT (1988). Este es un método que se utiliza para organizar los datos experimentales con el fin de obtener los costos y beneficios de los tratamientos alternativos. El presupuesto parcial comprende los siguientes elementos:

- **Rendimiento medio (kg/ha)**

Es el promedio de los rendimientos para cada uno de los tratamientos.

- **Rendimiento ajustado (kg/ha)**

El rendimiento ajustado de cada tratamiento es el rendimiento medio reducido en un cierto porcentaje con el fin de reflejar la diferencia entre el rendimiento experimental y el que el agricultor podría lograr con ese tratamiento.

- **Costos variables**

Es el total de los costos que varían para cada tratamiento.

- **Beneficio bruto**

El beneficio bruto de campo de cada tratamiento se calcula multiplicando el precio de campo por el rendimiento ajustado.

- **Beneficios netos**

Estos se calculan restando el total de los costos que varían de los beneficios brutos de campo.

- **Relación beneficio costo**

Se obtiene al dividir los beneficios netos entre los costos que varían del tratamiento alternativo y el testigo.

3.9. Análisis de datos

Con los datos que se obtuvieron de las variables de crecimiento vegetativo, fructificación y producción se realizó el análisis de varianza (ANDEVA), se utilizó el programa SAS versión 9.1 con el fin de encontrar diferencias significativas o no entre los diferentes tratamientos aplicados. El modelo aditivo lineal para el diseño de bloques completos al azar se describe a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

$i = 1, 2, 3, \dots, t = 4$ tratamientos (10 mm, 20 mm, 30mm, Testigo)

$j = 1, 2, 3, \dots, r = 4$ repeticiones

Y_{ij} = La j -ésima observación del i -ésimo tratamiento

μ = Es la media poblacional a estimar a partir de los datos del experimento

τ_i = Efecto de las diferentes láminas de riego sobre crecimiento, desarrollo y producción de café a estimar a partir de los datos del experimento.

β_j = Estimador del efecto debido al j -ésimo bloque

ε_{ij} = Efecto aleatorio de variación.

IV. Resultados y Discusión

4.1. Parámetros hidrofísicos para el manejo del riego por goteo.

Desde el punto de vista productivo los agricultores han acudido al uso de sistemas de riego para mejorar sus índices productivos, pero al mismo tiempo es importante conocer las propiedades hidrofísicas del suelo, ya que estas nos indican cual es la capacidad de almacenamiento de agua que los suelos tienen y la aptitud de drenaje de los mismos. Conocer esto es imprescindible para el manejo del sistema de riego, ya que con esto se puede garantizar la aplicación de las dosis, intervalos y momentos correctos de riego, lo que asegura la eficiencia de aplicación del sistema.

4.1.1. Velocidad de infiltración del suelo.

Como resultado se obtuvo que la infiltración básica del suelo es de 28 mm por hora y la velocidad de infiltración del suelo es 42.6 mm por hora, esto quiere decir que es un suelo con un buen drenaje que puede soportar una intensidad de lluvia de 42.6 mm en una hora para que pueda saturarse. Esto se debe a que la clase textural del suelo es un franco arenoso.

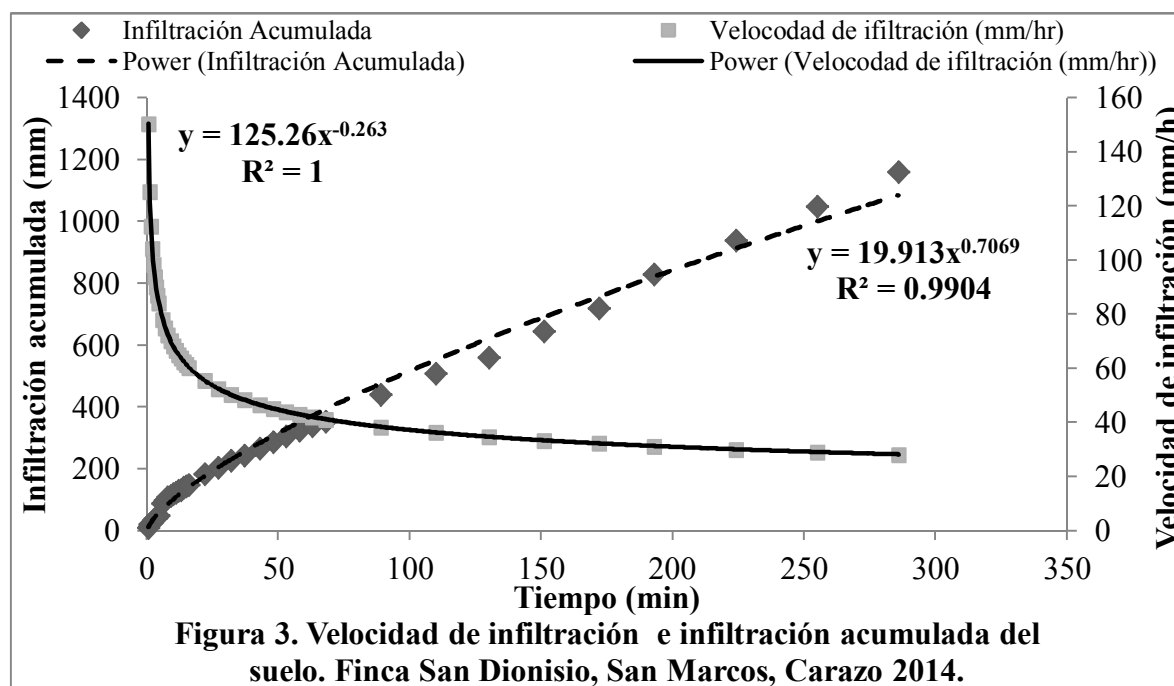


Figura 3. Velocidad de infiltración e infiltración acumulada del suelo. Finca San Dionisio, San Marcos, Carazo 2014.

La velocidad de infiltración del agua en el suelo es alta lo que implica una baja capacidad de retención de agua. CENTA (2013) explica que el agua que se infiltra en el suelo, puede tomar tres caminos: una parte queda almacenada en la zona de raíces y es el agua aprovechada por la planta, para realizar sus funciones fisiológicas y su desarrollo; otra se evapora desde la superficie del suelo y otra parte se desplaza hasta una profundidad mayor que la profundidad de raíces; a esta última se le conoce como filtración profunda o percolación, esta agua tampoco es utilizada por las plantas para su desarrollo. Esta última condición es más frecuente en suelos con altas tasas de velocidad de infiltración y baja capacidad de retención de humedad.

4.1.2. Niveles de humedad

De acuerdo con Suárez de Castro (1953), la mayor cantidad de raíces activas del café se encuentran muy cerca de la superficie del suelo, en los primeros 10 cm de profundidad (52,3% de las raíces absorbentes y un 47,5% de las raíces totales) significa que la planta necesita buena disponibilidad de agua y nutrientes a esta profundidad del suelo (Anexo 15).

Como resultado del monitoreo de los niveles de humedad en los diferentes tratamientos, se logró describir gráficamente dichas humedades, observándose que el testigo presentó mayores porcentajes de humedades a mayores profundidades (Figura 5), mientras que en los tratamientos con riegos por goteo los porcentajes de humedades son similares a partir de los 20 cm de profundidad (Figuras 6, 7 y 8), es decir que en los primeros 10 cm donde hay abundancia de raíces absorbentes del café, el riego por goteo dadas las características del suelo ya mencionadas no permite la disponibilidad de agua por mucho tiempo en esa zona.

El bulbo de humedecimiento del riego por goteo en un suelo arenoso tiende a extenderse verticalmente (Anexo 16), en los suelos pesados (de textura arcillosa), la velocidad de infiltración es menor que en los suelos ligeros (de textura arenosa), lo que hace que el charco sea mayor y el bulbo se extienda más horizontalmente que en profundidad. (CENTA, 2013). Suárez de Castro (1953) señala que la mayor cantidad de raíces activas del café se encuentra muy cerca de la superficie del suelo, en los primeros 10 cm de profundidad, y se extiende entre 1 y 1,5 m desde el tronco (Anexo 15), quiere decir que el

riego por goteo no humedeció una gran parte de la zona radical del café y sumado a la poca disponibilidad de agua por su alta velocidad de infiltración, el sistema fue poco eficiente.

CENTA (2013) confirma esta condición, afirmando que cuando la textura de suelo no permite que el bulbo de humedecimiento se extienda horizontalmente, se estaría desaprovechando una zona de agua al no estar ocupada por las raíces, es decir se estaría disminuyendo la eficiencia del sistema.

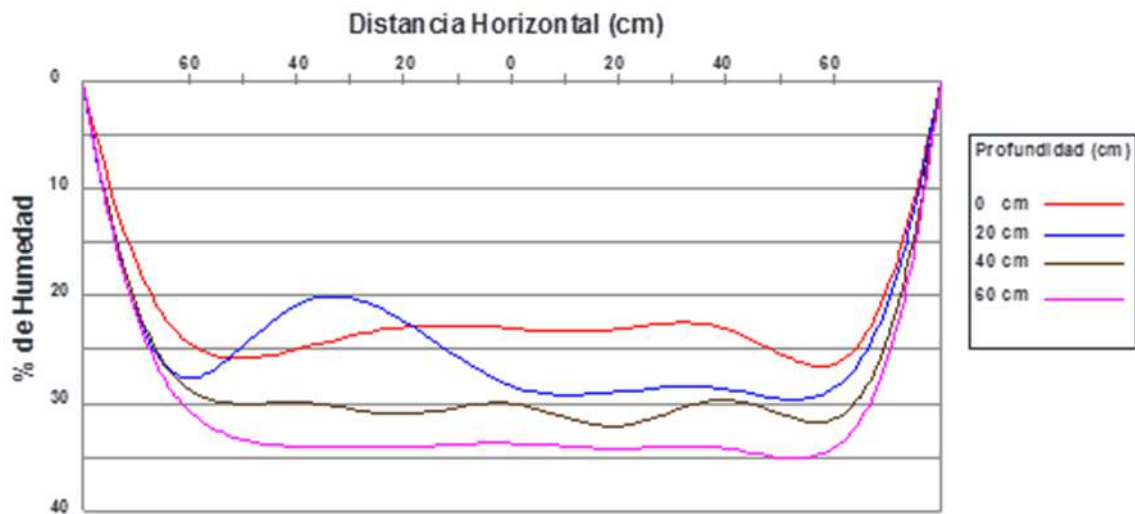


Figura 4. Niveles de humedad en el testigo (0 mm)

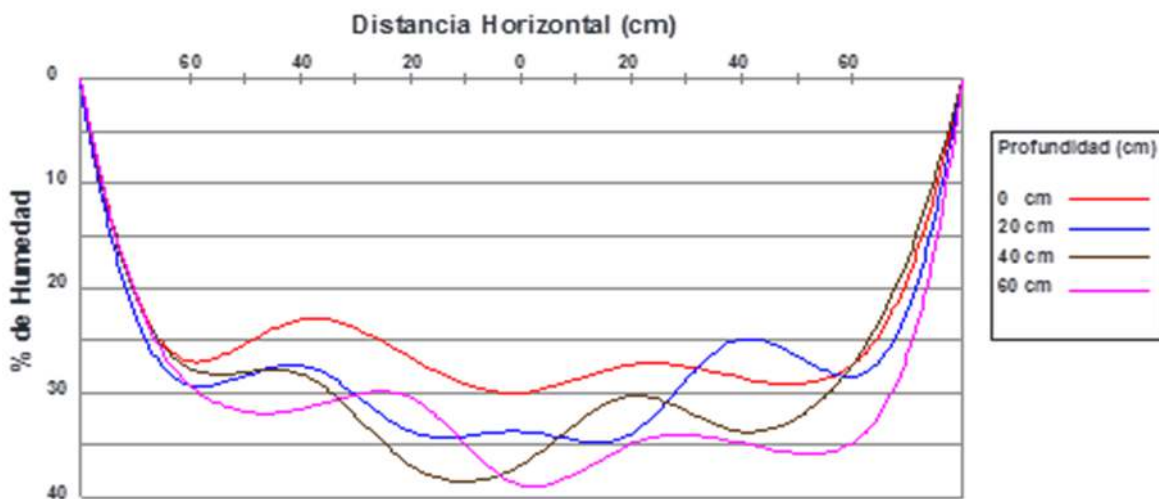


Figura 5. Niveles de humedad en el tratamiento T1 (10 mm)

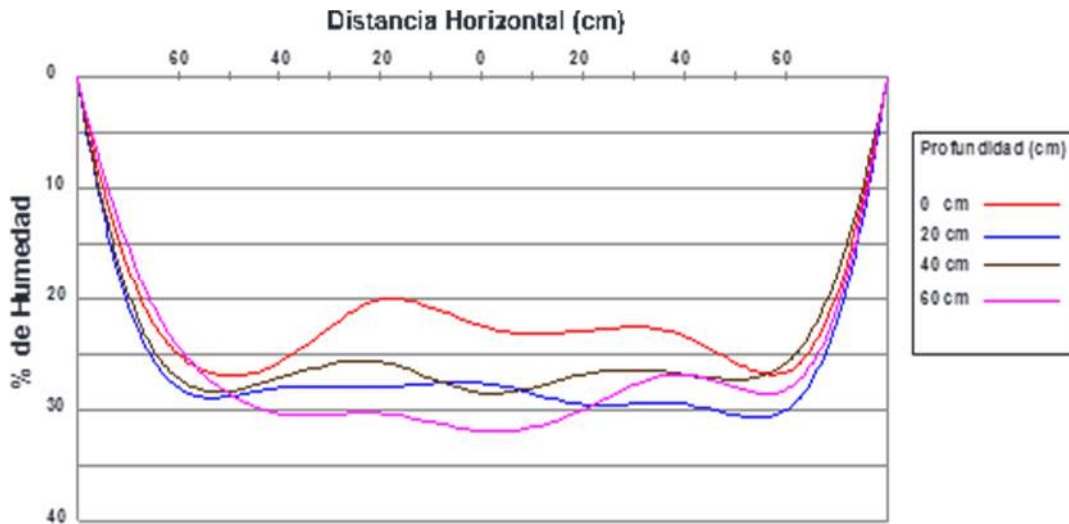


Figura 6. Niveles de humedad en el tratamiento T2 (20 mm)

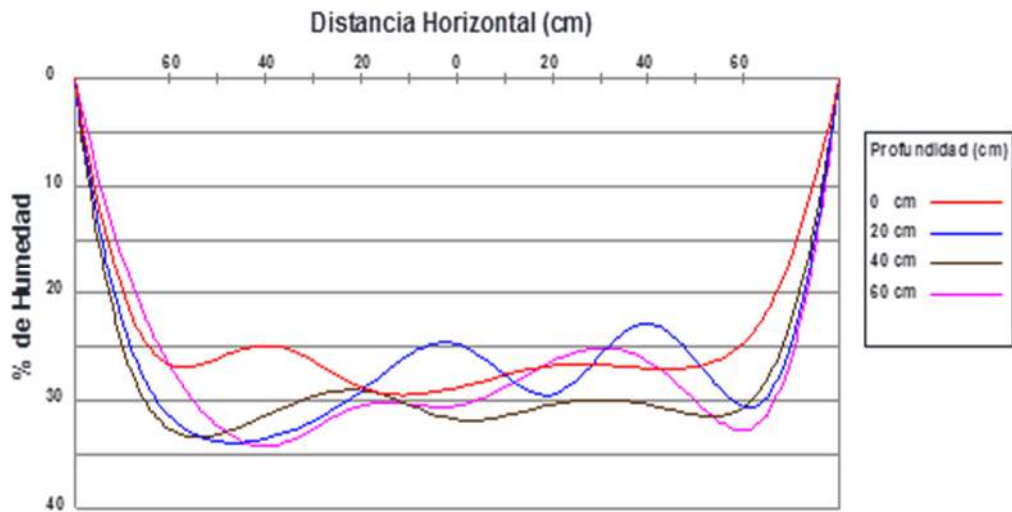


Figura 7. Niveles de humedad en el tratamiento T3 (30mm)

4.1.3. Capacidad de campo

Los resultados obtenidos del análisis físico químico del suelo donde se estableció el experimento indican que la capacidad de campo (C_c) es de 20.33 %, lo que nos indica que la capacidad de retención de agua del suelo es baja. Según Blair (2006) la capacidad de campo de los suelos francos arenosos oscila entre 7.5 y 20.5 %, esto significa que el suelo tiene una baja capacidad de retención de agua.

Según los resultados del proyecto EDEN-Bureau of Reclam y USDA en 1958 citado por García (2008), demostraron que la efectividad de aplicación de agua por riego se ve reducida principalmente a causa de un suelo arenoso con baja capacidad de retención de humedad.

4.1.4. Densidad real y Densidad aparente

La densidad aparente del suelo (peso seco del suelo / volumen) depende de varios factores tales como: la densidad de las partículas del suelo mineral, la cantidad de materia orgánica, la compactación del suelo, las actividades biológicas de la biota del suelo y la abundancia de las raíces de las plantas (Carpo y Fundora, 1994). Según los resultados de las muestras de suelo, la densidad aparente es de 1.35 g/cm^3 , densidad real de 2.53 g/cm^3 . La densidad aparente (D_a) y la densidad real (D_r), están vinculadas con las partículas del suelo, asimismo el movimiento del agua a través del suelo (Marrero, 2006). Como la densidad aparente incluye espacios porosos, a mayores valores de densidad aparente disminuye proporcionalmente la porosidad del suelo (Núñez, 2000).

4.1.5. Porosidad de suelo

Es aquella parte del volumen total de suelo ocupada por el aire o agua, según el nivel de humedad que el suelo presente (Marrero, 2006). De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de suelo elaborado por el laboratorio de suelo y agua de la UNA, se determinó en un 47.26 % de porosidad. Este valor indica que habrá una buena circulación de agua en el suelo.

La porosidad total de los suelos arcillosos es mayor que la de los suelos arenosos, por otra parte, el movimiento del agua libre es mayor en los arenosos que en los arcillosos; sin embargo, la retención de agua es mayor en los suelos arcillosos que en los arenosos (CENTA, 2013).

4.2. Crecimiento vegetativo.

4.2.1. Área foliar del café

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que tanto la primera y segunda medición, el área foliar del café se vio favorecida por el riego.

El comportamiento de la primera medición en el área foliar del café, muestra que la aplicación de agua por goteo con una lámina de 30 mm supera en un 60.5 % más de área foliar que en el tratamiento que no se aplicó riego. Las láminas menores tuvieron una menor influencia, sin embargo, fueron estadísticamente diferentes.

Cuadro 4. Influencia de diferentes niveles de riego sobre el área foliar del café.

Factor	Láminas de agua	Área Foliar m ²			
		Medición 1	%	Medición 2	%
Riego	0 mm	1.24 b	0.0	4.06 b	0.0
	10 mm	1.40 ab	13.0	4.65 b	14.5
	20 mm	1.52 ab	22.6	6.53 a	60.8
	30 mm	1.99 a	60.5	6.56 a	61.6

La tendencia mostrada es que el café cuando tiene condiciones de humedad suficiente aportada por las precipitaciones incrementa notablemente su área foliar y muestra una mayor producción de área de 6.53 y 6.56 m² en las láminas aplicadas de 20 y 30 mm respectivamente, siendo diferentes estadísticamente con el resto de los tratamientos (Cuadro 4).

Cisneros y Martínez (2001), obtuvieron resultados similares a nuestro estudio en las condiciones climáticas de La Habana, Cuba. A pesar de no encontrarse diferencias estadísticas para el caso del área foliar, demostraron que los valores mayores fueron obtenidos por los tratamientos en donde se aplicó mayor cantidad de agua, también en este estudio el testigo obtuvo el valor más bajo.

Valencia (1973), concluye que la hoja es el principal órgano donde se realiza la fotosíntesis, por lo que el conocimiento de este carácter es un índice adecuado para estimar la capacidad de la planta para transformar la energía luminosa en energía química; también que el área foliar del café al igual que en todas las plantas constituye una de las características más importantes, ya que la misma ha resultado ser un adecuado indicador de productividad o rendimiento.

4.2.2. Nudos y crecimiento de bandola.

Con relación a la variable nudos productivos fue realizado para el ciclo productivo del 2013, en la que ya estaba formada la estructura productiva y por el cual su comportamiento se debe a que todas las plantas estaban en las mismas condiciones de humedad del suelo o sea fueron cuantificadas antes de la aplicación de los tratamientos en las parcelas experimentales, los promedios de nudos productivos oscilaron entre 11.47 y 12.93 (Cuadro 5).

Los nudos productivos se mueven año a año hacia el extremo de las bandolas (crecimiento plagiotrópico) y en sentido vertical del tallo (crecimiento ortotrópico), acumulando números de nudos improductivos y defoliados de la cosecha anterior.

Los nudos producen frutos solo una vez (Palma 2001), en cada ciclo de producción los nudos productivos se localizan hacia los extremos de la ramas, cada año de producción queda mayor área de tejido improductivo en la planta (Ramírez 1996).

Tanto las variables crecimiento de bandolas como de los nudos potenciales son la respuesta a la aplicación de riego el que se inició el 15 de Mayo del 2014. Las variables de número de nudos potencialmente productivos y crecimiento de bandola, fueron cuantificadas el 11 de Octubre del 2014.

Cuadro 5. Influencia del riego sobre el crecimiento vegetativo del café

Factor	Niveles	Nudos Productivos	Nudos Potenciales	Crecimiento Bandolas (cm)
Riego	0 mm	11.48 a	3.63 b	13.18 b
	10 mm	11.5 a	5.92 a	20.03 a
	20 mm	12.93 a	5.66 a	18.67 a
	30 mm	11.47 a	6.03 a	19.78 a

El número promedio de nudos potencialmente productivos en el testigo es inferior estadísticamente con respecto a los tratamientos con irrigación, estos obtuvieron resultados similares, ubicándose dentro de una misma categoría estadística. Los promedios más altos obtenidos en el estudio correspondieron a las láminas de 30 y 10 mm con un promedio de nudos potencialmente productivos de 6.03 y 5.92 respectivamente.

Este indicador es de suma importancia, pues al formarse nuevos nudos potencialmente productivos, significan para el siguiente ciclo de producción que se garantizará floración y fructificación en las bandolas que durante este año se obtuvo cosecha; en este caso se ha demostrado que el aporte del riego influye, pues supera hasta en un 66.67 % en comparación al testigo.

La formación de nudos potencialmente productivos permitirá un incremento en la producción (Mestre y Aspina, 1994). Según Balladares & Calero (2005), los nudos en el tallo son importantes porque de este se originan las ramas primarias que son el tejido nuevo y productivo en los primeros años de vida de un cafeto, al aumentar los nudos aumentan el número de ramas en la planta y por ende la productividad del cafeto a largo plazo ya que estos aumentan conforme la longevidad de la planta.

El crecimiento de las bandolas está directamente relacionado con el indicador anterior, pues lógicamente al darse mayor crecimiento plagiotrópico de las bandolas, mayor sería el número de nudos potencialmente productivos formados. A como se muestra en el Cuadro 5, para ambos casos existe la misma tendencia mostrándose valores que demuestran esta relación, en este caso los mayores valores son 20.03 y 19.78 cm correspondiente a las láminas de 10 y 30 mm respectivamente. El testigo fue el que obtuvo el promedio más bajo. Estos resultados son similares a los que obtuvieron Cisneros y Martínez (2001), en este caso el crecimiento fue proporcional a la cantidad de agua aplicada y el valor más bajo perteneció al testigo ubicándose en la categoría más baja.

Esta comparación permite afirmar que el riego localizado influye en el aumento del crecimiento vegetativo, en dependencia de la cantidad de agua que se aplique. Según Borges (2000), el riego en el cafeto proporciona un mejor crecimiento de los cultivos, lo que garantiza vigor de la planta.

Por su parte Rubens (1988), indica que cuando el café se somete a un mayor contenido de humedad de suelo mayor será el desarrollo vegetativo.

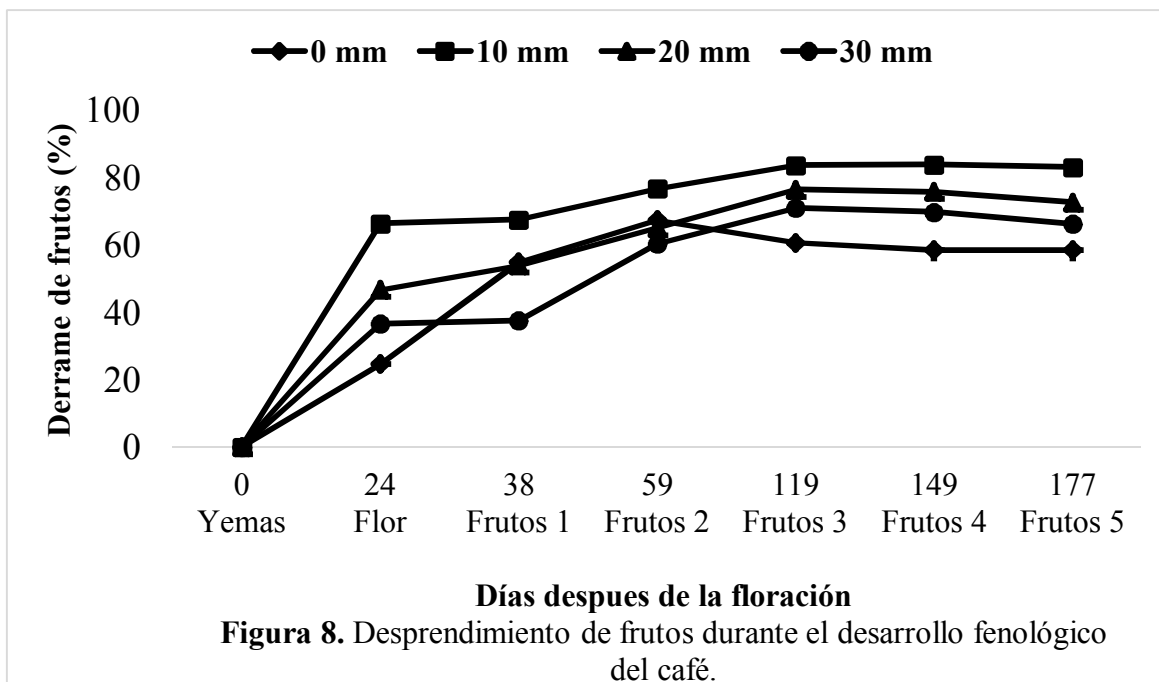
4.2.3. Derrame productivo del café.

La aplicación de los tratamientos (láminas de riego) se inició el día 15 de Abril del 2013, se observó que la floración comenzó a partir de los 9 días después de que se aplicó la irrigación, el testigo inició el proceso de floración 10 días después de haberse iniciado las primeras lluvias, las cuales comenzaron el día 12 de Mayo del 2013.

Esta situación concuerda con la afirmación que hace Gopal (1977), que las lluvias estimulan una hormona de inhibición que es el Ácido Abscísico (ABA) y después de cinco a doce días la flor es abierta.

Según Alvin (1977), el largo del día y la distribución de las lluvias son los factores externos que más influyen la floración de café. Gopal (1977) menciona que el déficit hídrico en adición al tamaño y estado de las yemas florales también afecta otros procesos fisiológicos como la liberación de energía y el balance de las sustancias reguladoras de crecimiento. También Briceño (1992), afirma que después de las lluvias se da una abundante floración. Por su parte CATIE (2002), indica que la floración del café está influenciada por una variedad de factores internos (bioquímicos, fisiológicos, genéticos, relación C/N) y externos (precipitación, nutrición, sombra, diferencias entre temperaturas diurnas y nocturnas, etc.). Se ha establecido que la distribución de los períodos húmedos y secos y la temperatura, son los principales factores que afectan la floración: como resultado de esto, las floraciones se concentran o dispersan durante el año.

A como se muestra en la figura 8, en los primeros 24 días después de la floración (ddf) ocurre con mayor intensidad el derrame productivo de los frutos. De los tratamientos con riego el que obtuvo un menor derrame fue la lámina de 30 mm con un 36%, seguido por la de 20 mm con 46% y por último la de 10 mm con un 66% y el testigo pierde hasta un 24% de sus frutos.



A los 38 días continúa el derrame, pero en este caso los tratamientos con riego lo hacen con menor intensidad. El tratamiento con la lámina de 30 mm pierde un 0.95 %, 20 mm un 7 %, 10 mm un 1.13 %. El testigo pierde un 30 % más y sobrepasa las pérdidas que en el tratamiento de 20 mm. Según Mes (1957) dos de los factores que afectan el desarrollo de la flor son el déficit hídrico durante la iniciación de la floración y la alta radiación solar; como ya se había explicado y observado en el monitoreo de humedad del suelo de la finca existe déficit hídrico en los primeros 20 cm de suelo debido a la alta velocidad de infiltración del agua y también las plantas de café del ensayo se encontraban con un porcentaje de sombra bajo (20 %) lo que permitió que hubiera mayor impacto de la radiación solar.

Arcila (2008), considera que el impacto de la radiación solar y el déficit hídrico pueden ocasionar secamiento de los botones florales, abscisión o caída de flores, pérdida o reducción de la capacidad de floración.

Es importante aclarar que la floración del testigo se dio a consecuencia de las precipitaciones con las que hubo mayor disponibilidad de agua, disminución de la temperatura y mayor área humedecida de suelo en comparación con el momento de floración de los tratamientos irrigados, es decir que las condiciones climáticas en el

momento de floración del testigo fueron más favorables que la de los tratamientos con riego. Esta condición fue considerada por CENTA (2013) quien recomienda la utilización de riego por aspersión pues permite humedecer una mayor área de suelo y por consiguiente que haya más aprovechamiento del agua por las raíces, situación que también la lluvia garantiza.

A los 59 días ddf el testigo pierde 17 % más de frutos, en el resto de los tratamientos las pérdidas oscilan entre un 6 y 10 %, ya después de este momento el derrame es mínimo hasta la etapa final del ciclo productivo.

De los 119 a los 149 ddf se observó que dentro de las parcelas experimentales algunas plantas estaban floreciendo y otras con nuevos frutos, por lo que debido a este fenómeno atribuimos el incremento de número de frutos de Septiembre a Noviembre que se observa en la figura 9. El testigo aumentó en un 7 %, la lámina de 30 mm en un 3.48 %, la lámina de 20 mm en 3 % y la lámina de 10 mm en 0.77 %. También es importante decir que el incremento del número de frutos en este periodo no representa parte de la producción total de cada tratamiento, pues estos no alcanzaron el tamaño adecuado.

Este fenómeno es descrito por Puerta & Quintero (2000), que afirman que una planta de café florece en diferentes épocas, en una misma rama se pueden encontrar frutos con distintos estados de desarrollo, principalmente en los climas trópicos que no están bien marcada las estaciones del año. En una planta se pueden encontrar, frutos maduros, verdes, medianos, pequeños y flores, ocurriendo todas estas etapas en el mismo nudo productivo (Crisosto *et al.*, 1992).

El derrame productivo en el testigo se da en los 3 meses después de la floración y llega a perder hasta un 67.48 %. La lámina de irrigación de 10 mm pierde hasta un 83.95 % y lo hace en 5 meses después de la floración, el tratamiento con 20 mm de riego tiene un derrame hasta de un 76.55 % y ocurre durante los 4 meses después de la floración y por último el tratamiento de 30 mm tiene un derrame de un 71.1 % y al igual que la lámina de 20 mm ocurre durante los 4 meses después de la floración.

El testigo, es el tratamiento con el menor porcentaje de derrame al compararlo con los demás tratamientos, además es el que tiene menor tiempo de derrame, pero esto se debe a que las parcelas sin riego florecieron un mes después que las con riego, es decir que el riego influyó en estimular la floración, pero al mismo tiempo el proceso de derrame ocurrió un mes antes. La caída de frutos han sido asociadas a la falta de agua al comienzo de la etapa de crecimiento acelerado del fruto (CATIE, 2002); en esta etapa los testigos no tuvieron déficit de agua dado que las precipitaciones fueron favorables (210 mm), hubo una mayor área humedecida de suelo, mejor microclima y mayor disponibilidad de agua; condiciones que garantizaron la adecuada formación de frutos en la primera etapa.

Para el caso de los tratamientos irrigados, en la primera etapa se estimuló a la floración, pero las láminas aplicadas junto con la baja capacidad de retención de agua del suelo y altas temperaturas (32 °C) no permitieron disponibilidad de agua en este momento lo que influyó en mayor porcentaje de derrame con respecto al testigo.

Briceño (1992) señala que las bandolas que tenían más frutos son las que sufren mayor purga, pues esto permite el crecimiento de los que la planta puede sostener en base a la disponibilidad de nutrientes, esto explica que al final los rendimientos de los cuatro tratamientos fueron similares.

4.2.4. Calidad física del grano

Todos los parámetros que se cuantificaron para conocer la calidad física del grano de café en base a la aplicación de los diferentes tratamientos, no tuvieron diferencias estadísticas, más sin embargo se menciona cada uno de estos para señalar las particularidades que se puedan definir.

El tratamiento que obtuvo mejor promedio en la medición de número de frutos por libra fue la lámina de 10 mm con un total de 343 frutos/libra, muy cerca de este valor se encuentra la lámina de 30 mm con 342.25 frutos/libra.

El porcentaje de frutos verdes fue menor en los tratamientos de 20 y 10 mm con 0.38 y 0.63 % respectivamente. UNICAFE (1995), menciona que los frutos verdes se caracterizan por tener menor peso, esto conlleva a menos toneladas cosechadas. Para el caso del porcentaje de frutos pintos los promedios más altos los obtenidos fueron 4.44 y 4.13 % correspondientes a las láminas de 20 y 30 mm.

Cuadro 6. Calidad física del fruto grano uva de café.

Indicador	Pr > F	Tratamientos			
		0 mm	10 mm	20 mm	30 mm
Frutos por libra	0.2125	335.25	343	330	342.25
%Frutos Verdes	0.8768	1.15	0.63	0.38	0.74
%Frutos Pintos	0.1898	5.67	5.55	3.44	4.13
%Frutos Maduros	0.2530	93.16	93.81	96.17	95.12
%Frutos Secos	0.0687	0.67	1.00	2.17	4.76
%Frutos Brocados	0.1408	14.11	23.53	29.58	10.46
%Frutos Flotantes	0.0443	13.89	10.42	12.95	12.56
%Frutos Manchados	0.5606	3.56	7.72	2.15	3.76

Un indicador importante dentro de los parámetros de calidad es el porcentaje de frutos maduros, para este estudio el rango de maduración fue entre 93.16 y 96.17 %, el valor más alto correspondió a la lámina de 20 mm.

El tratamiento que obtuvo mejores resultados al cuantificar el porcentaje de frutos secos fue el testigo con un 0.67 % de frutos secos, caso contrario con la lámina de 30 mm que obtuvo un resultado menos deseable con 4.76 %. Según UNICAFE (1997), la presencia de frutos secos es consecuencia de daños ocasionado por la radiación solar (quemadura del sol) y/o porque la cosecha no se hace en el tiempo requerido de corte y el grano se seca en la planta. La lámina de riego de 20 mm obtuvo un 28.58 % de frutos brocados, la lámina de 10 mm también obtuvo un promedio alto con 23.53 % y la lámina de 30 mm con un 10.46 % fue la que presentó el promedio más bajo. Alvarado y Roja (1998), mencionan que cuando el fruto es atacado por broca en estado verde y maduro no cae pero pierde peso, se convierte en café vano, de baja calidad, y produce una apreciable disminución en el rendimiento.

El porcentaje de frutos flotantes en los diferentes tratamientos fue muy similar, el valor más alto fue de 13.89 % correspondiente al testigo y el valor más bajo fue de 10.42 % perteneciente a la lámina de 10 mm.

Para el caso del porcentaje de frutos manchados el valor menor deseable lo obtuvo la lámina de 10 mm con 7.72 % y el promedio más bajo correspondió a la lámina de 20 mm con 2.15 %.

4.3. Producción de grano

4.3.1. Rendimiento del grano.

Los mejores rendimientos obtenidos en el estudio corresponden al tratamiento de la lámina de riego de 20 mm, seguido por 30 mm, 0 mm y en último lugar el tratamiento con riego de 10 mm, sin embargo, no hubieron diferencias estadísticas entre sí (Cuadro 7). Es importante mencionar que los rendimientos obtenidos por este último tratamiento se atribuyen a que también este obtuvo el mayor porcentaje de derrame productivo (Figura 9).

La relación uva pergamino realizada en laboratorio obtuvo que la mayor relación uva pergamino corresponde al testigo seguido por los tratamientos 30, 20 y 10 mm respectivamente.

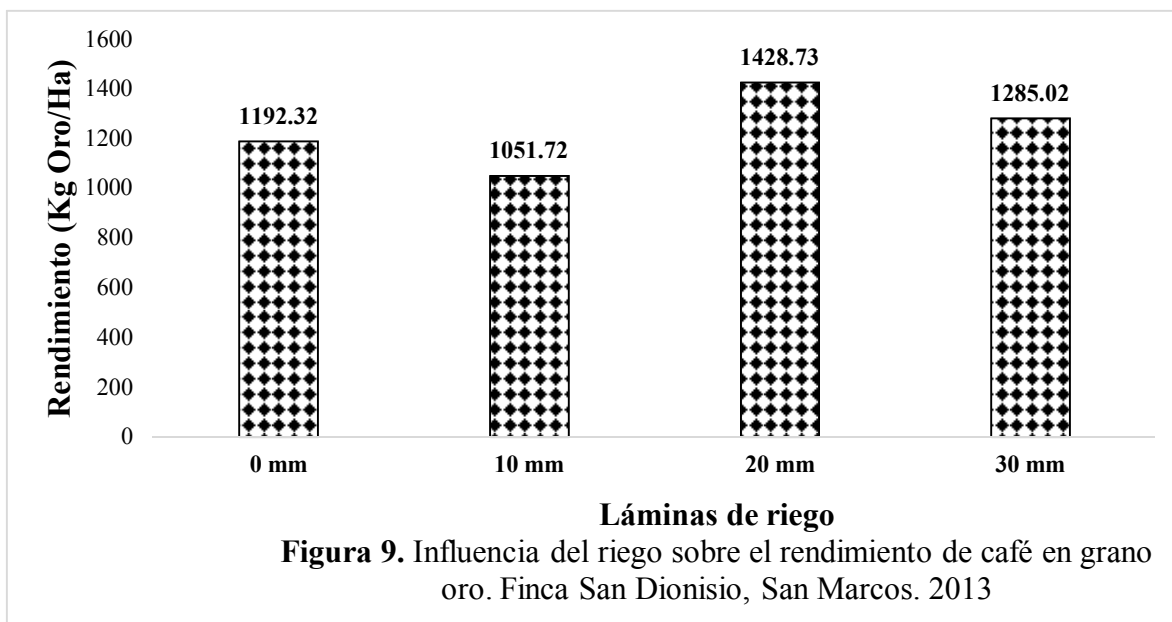
Cuadro 7. Rendimiento en kg ha⁻¹ y relación uva pergamino de los tratamientos evaluados. San Marcos, Carazo 2013.

Tratamiento	Rendimiento en kg ha ⁻¹		Relación Uva Pergamino
	Grano uva	Grano Pergamino	
0 mm	6878.59	1255.07	0.1875
10 mm	6168.81	1107.07	0.1775
20 mm	8176.02	1503.93	0.1850
30 mm	7337.43	1352.66	0.1850

ANACAFE (2011), afirma que la cascarilla suelta o pergamino representa el 5 % del peso total del grano de café. Considerando este dato se calculó el rendimiento en kg ha⁻¹ de café oro.

Según Oliveria (2010), se obtienen mayor producción de grano entre mayor sea la cantidad de agua aplicada. Silva (2006) al contrario en su estudio demuestra que al aplicar en forma de riego del 210 % de evaporación esta obtuvo menor rendimiento que el testigo el cual obtuvo los mejores rendimiento en un plazo de cuatro años. Bonomo *et al.* (2008)

observaron que en las condiciones de la región del cerrado Goiás, Brasil, que el empleo de riego proporciona aumentos en la productividad media de café.



Campbell (1987), afirma que la deficiencia de agua en la maduración y la formación de los botones no puede afectar a la productividad en el año, pero dificulta seriamente la producción del año siguiente, conclusión que nos hace pensar que el comportamiento de la producción del testigo en nuestro estudio podría tener esta tendencia.

4.4. Análisis económico

4.4.1. Análisis de presupuesto parcial.

Los pioneros en el uso de presupuestos parciales para el análisis de experimentos agrícolas fueron los miembros del Programa de Economía Agrícola del CIMMYT, quienes en 1976 publicaron el primer manual de esta metodología (Perrin *et al.*, 1976). Doce años después, luego de ensayar nuevas maneras de exponer este enfoque y afinarle algunos aspectos, los miembros de este programa publicaron una nueva versión de este texto (CIMMYT, 1988).

Después de la publicación del primer manual, en los programas de capacitación para investigadores, tanto del CIMMYT como de otros centros internacionales de investigación agrícola, se enseñó este enfoque para analizar experimentos. A nivel Centroamericano,

CATIE también ha promovido el uso de este método, a través de su programa de manejo integrado de plagas (Calvo y Simán, 1993).

Cuadro 8. Análisis de presupuesto parcial para los cuatro tratamientos evaluados. San Marcos, Carazo, 2013.

Concepto	Tratamientos			
	0 mm	10 mm	20 mm	30 mm
Rendimiento medio (Kg Oro.ha⁻¹)	1192.32	1051.72	1428.73	1285.02
Rendimiento ajustado (Kg Oro.ha⁻¹)	1132.70	999.13	1357.30	1220.77
Precio de venta (\$.Kg⁻¹)	1.89	1.89	1.89	1.89
Beneficio bruto en campo (\$.ha⁻¹)	2143.08	1890.36	2568.00	2309.70
Costos Variables				
Costo de sistema de riego (\$)	0	898.24	898.24	898.24
Costo de mano de obra para establecerlo (\$)	0	120.00	120.00	120.00
Costo de bombeo (\$.ha⁻¹)	0	8.49	16.99	25.49
Total de los costos que varían (\$.ha⁻¹)	0	1026.73	1035.23	1043.73
Beneficio Neto (\$.ha⁻¹)	2143.08	863.62	1532.77	1265.97

El Cuadro 8, muestra los elementos que comprenden el análisis de presupuesto parcial para cada tratamiento, de acuerdo con la metodología propuesta por CIMMYT (1988). Considerando que la finca donde se realizó el ensayo contaba con un manejo con alto nivel de insumos, personal técnico altamente capacitado y personal jornal con alta experiencia, se utilizó un 5 % para calcular el rendimiento ajustado.

El precio de venta que se utilizó fue el que la finca acordó con el comprador en el año 2013, en este caso la finca vendió el quintal oro en U\$ 86.00 equivalente a U\$ 1.982 por kilogramo de café oro.

En el testigo no se invirtió en comprar los materiales del sistema de riego, la mano de obra y tampoco en los costos que tendría el funcionamiento de la bomba. En los tratamientos de riego se invierte en materiales que son los mismos para todos al igual que la mano de obra para el establecimiento del sistema, pero difieren en los costos de bombeo, cada lámina tiene un tiempo de bombeo y el costo de bombeo está determinado por el tiempo que se encuentre funcionando la bomba para aplicar la lámina de irrigación y el precio del kw/h.

No se consideraron los costos de producción en los que incurría la finca en fertilización, control de malezas, manejo de plagas y enfermedades, pues según CIMMYT, (1988) Al considerar los costos relacionados con cada tratamiento, sólo se consideran aquellos que difieren entre los tratamientos, es decir, los costos que varían.

Al comparar los beneficios netos en el análisis de presupuesto parcial el testigo obtiene mayores beneficios pues en este primer año no se realiza una inversión como en los otros tratamientos. De los tratamientos con láminas de irrigación el que obtuvo los mejores beneficios fue el de 20 mm de riego seguido por 30 mm y con los beneficios más bajos el tratamiento de 10 mm.

4.4.2. Relación beneficio costo

En el cuadro 9 se muestra el análisis de las utilidades y la relación beneficio costo. Se consideró el rendimiento ajustado en kg oro, el precio de venta al que vendió la finca San Dionisio en 2013. En este análisis a diferencia del de presupuestos parciales se consideraron todos los costos de producción que equivalen a U\$ 1271.87 ha⁻¹ (Anexo 17) a los otros tratamientos se les suma los costos del establecimiento del sistema de riego y los costos de bombeo.

Cuadro 9. Análisis de utilidades y relación beneficio costo.

Lámina	Producción (Kg oro ha ⁻¹)	Precio (\$ Kg oro ⁻¹)	Ingresos (\$)	Costo de producción	Utilidades (\$)	R B/C
0 mm	1132.70	1.892	2143.08	1271.87	871.21	1.68
10 mm	999.13	1.892	1890.36	2178.61	-288.25	0.87
20 mm	1357.30	1.892	2568.00	2187.10	380.90	1.17
30 mm	1220.77	1.892	2309.70	2195.60	114.10	1.05

En el análisis se puede observar que el testigo tiene mejores utilidades y relación beneficio costo que los demás tratamientos, lógicamente esto se debe a que no se incurrió en gastos para sistema de riego y las precipitaciones del año 2013 fueron altas (Figura 2) y ayudaron a obtener buenos rendimientos. El tratamiento que no obtuvo utilidades y una relación beneficio costo menor de 1 fue el tratamiento con la lámina de irrigación de 10 mm. Los tratamientos con las láminas de 20 y 30 mm a pesar de los costos de inversión sumados a

los costos de producción logran obtener utilidades y relación beneficio costo mayor de 1. De estos el que obtuvo mejores resultados desde el punto de vista económico fue el tratamiento de 20 mm. Oliveira (2007) recomienda que para el análisis económico de sistemas de riego en café se evalúe durante seis años como mínimo.

V.CONCLUSIONES

- Las propiedades hidrofísicas del suelo de la finca “San Dionisio” en donde se estableció el ensayo es de una clase textural franco arenoso, con una capacidad de campo de 20.3 % y una infiltración básica de 28 mm esto indica que es un suelo muy permeable lo que se traduce en una velocidad de infiltración alta (42.6 mm/h) y una baja capacidad de retención de agua.
- El riego por goteo tiene un efecto positivo en el crecimiento vegetativo del café superando hasta en un 60.5 % al testigo, por lo que su efecto se verá reflejado en la producción del siguiente ciclo.
- Los factores que influyeron en el derrame productivo de café fueron la baja capacidad de retención de agua del suelo en conjunto con las condiciones climáticas experimentadas en el momento de la inducción floral por riego.
- Los tratamiento de 20 y 30 mm obtuvieron los rendimientos más altos con 1428.73 y 1285.02 kg oro ha⁻¹ respectivamente, seguido del testigo con 1192.32 kg oro ha⁻¹.
- El análisis económico de los cuatro tratamientos indica que el testigo obtuvo los mayores beneficios netos y la mejor relación beneficio costo.

VI.RECOMENDACIONES

- Por las características de manejo del ensayo, se deberían realizar más estudios sobre el crecimiento, desarrollo y producción de café donde se evalúe el efecto del sistema de riego por goteo en un periodo no menor de 3 años.
- Realizar estudios donde se evalúe más de un solo factor (climáticos, de manejo y fitosanitarios) sobre el desprendimiento de frutos en café.
- Relacionar condiciones de clima, manejo fitosanitario con el uso de sistemas de riego en el cultivo de café.

VII. Bibliografía Consultada

- Altamirano, J. 2005.** Biomasa y nutriente de mantillo en diferentes sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el Municipio de Masatepe, Departamento de Masaya, Nicaragua. Tesis. Ing. UNA, Managua, Nicaragua 46 p.
- Altamirano Tinoco, J. 2012.** Influencia de la variabilidad climática sobre la producción de café (*Coffea arabica* L.) en Honduras. (En línea). Turrialba, CR . CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). Consultado 17 Sept. 2013. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A9022E/A9022E.PDF>.
- Alvarado M y Rojas. G. 1998.** El Cultivo y Beneficiado de Café. Segunda Edición. San José, Costa Rica. Editorial Universidad. 160 p.
- ANACAFE, 2011.** Los subproductos del café. (En Línea). Consultado 18 Jul 2014. Disponible en: www.anacafe.org/glifos/index.php/beneficiohumedo_subproductos
- Altieri, M. A. 1999.** Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable. Nordan-Comunidad.
- Alvez, M.E. 1999.** Resposta do cafeeiro (*Coffea arabica* L) a diferentes lâminas de irrigacao e fertirrigacao. Dissertacao. Universidade federal de lavras.
- Alvim, P.T; Kozlowski, T.T. 1977.** Ecophysiology of tropical crops. New York, Academic Press. 502 p.
- Alvin, PT. 1977.** Factors affecting flowering of coffe. Journal of coffe Research 7(1):15-25.
- Arcila, J. 2008.** Crecimiento y desarrollo de la planta de café, Capitulo. Bogota, Col. 40p.
- Balladares. D y Calero. J .2005.** Efecto de la Sombra y Fertilización sobre el Crecimiento, Estructura Productiva, Rendimiento y Calidad del Café. Managua, Nicaragua UNA. 69p.
- Baylon, M Y Pizzi, W. 1994.** Variedades de café en Nicaragua. Biblioteca CONAFE, (Jardín Botánico) Masatepe, Nicaragua. 14p.
- Betrand. 1999.** Introducción. In: Betrand, B. y Rapidez, B. Desafíos de la agricultura en Centroamérica. IICA/PROMECAFE.CRAD: IRD: IX- Xp.

- Blair, N. 2006.** Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility. Part I: broadbalk experiment. *Soil Till Res* 91: 30–38.
- Bonomo, R.; Oliveira, LFC; Silveira Neto, AN; Bonomo, P. 2008.** La productividad de café Arábica de regadío en el Cerrado de Goiás. *Agronómico Tropical de Investigación*, v.38.
- Borges, J. T. S. (2000).** Propriedades de cozimento e caracterização físico-química de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa (*Chenopodium quinoa, Willd*) e de farinha de arroz (*Oryza sativa*), polido por extrusão termoplástica. *Boletim do Centro de Pesquisas e Processamento de Alimentos*, v. 21, n. 2, p. 303-322.
- Briceño, J. 1992.** Desarrollo del cafeto. Crecimiento vegetativo y reproductivo de tres cultivares. Turrialba, Cr. 6p.
- Calvo, G. & Siman J. 1993.** Uso de Presupuestos Parciales de Beneficio Neto en la Evaluación Financiera de Tecnologías de Manejo Integrado de Plagas. Versión preliminar. Costa Rica, Centro de Agricultura Tropical de Investigación y Enseñanza, Area de Fitoprotección.
- Campbell, Ap. 1987.** Balance hídrico, floración y necesidad de agua para el café. En: SIMPOSIO SOBRE LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA AGRICULTURA, 1987, de Campinas. Fundación Cargill.
- Carpo P; Fundora H, O. (1994).** Edafología. Habana, CU. 300p?
- Carvalho, C.H.M.; Colombo, A.; Scalco, M.S.; Morais, A.R. 2006** Evolução do crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigado e não irrigado em duas densidades de plantio. *Ciência e Agrotecnologia*, v.30, p.243-250.
- CATIE. 2002.** Estudio de factibilidad para la implementación de seguros basados en Índices climáticos en el cultivo de café en Honduras y Nicaragua Pp .67.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal) 2013.** Riego por goteo. San Salvador, Salv. 98p.

- CETREX. 2013.** Exportaciones autorizadas de los 20 principales productos. (En línea). Consultado el 14 Marzo 2013. Disponible en: <http://www.cetrex.gob.ni/website/servicios/princprodu13.html>
- CIMMYT 1988.** La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D.F., México: CIMMYT.
- Cisneros, E.;** Martinez, R. 2001. Respuesta del cafeto al riego por goteo en plantaciones de fomento. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol 10. Universidad Agraria de La Habana, Cuba.
- Crisosto, CH; Grantz, DA; Meinzer, FC. 1992.** Effects of water deficit on flower opening in coffee (*Coffea arabica* L.). Tree Physiology 10(2):127.
- Davies,A; Woldemariam, T; Baena, S; Moat, J. 2012.** The Impact of Climate Change on Indigenous Arabica Coffee (*Coffea arabica*): Predicting Future Trends and Identifying Priorities. (En línea). Abada, ET. s.e. Consultado 17 Sept. 2013. Disponible:<http://www.cetrex.gob.ni/estadisticas/exportacionestotaleseneroadiciembre2006-2013.html>.
- El Nuevo Diario. 2012.** Cambio climático amenaza al café. (En línea) Consultado: 14 Marzo 2013. Disponible en: <http://www.elnuevodiario.com.ni/economia/264602-cambio-climatico-amenaza-al-cafe>
- FAO. 2009.** Adaptación de la agricultura al cambio climático. (En línea). Consultado el 14 Marzo 2013. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/templates/tci/pdf/backgroundnotes/webposting_SP.pdf
- Figueredo de Aredes, A; Gomes Pereira, M; Dos Santos, M. 2010.** A irrigação do cafezal como alternativa econômica ao produtor. (En línea). Minas Gerais,BR. Universidade Federal de Viçosa Consultado 17 Sep. 2013. Disponible en: <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=b5b5ae03-91eb-4a76-80a6-0244231ea303%40sessionmgr113&hid=114>
- García, M. 2008.** Eficiencia del riego por goteo. (En línea) Consultado: 16 Septiembre 2014. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/EFICIENCIA.pdf>

- Gay,C; Estrada,F; Conde,C; Eakin, H; Villers, L. 2006.** Potential Impacts Of Climate Change On Agriculture: A Case Of Study Of Coffee Production In Veracruz, Mexico. (En línea). México DF, MX. Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM, MX. Consultado 17 Sept. 2013. Disponible en: http://download.springer.com/static/pdf/350/art%253A10.1007%252Fs10584-006-9066-x.pdf?auth66=1379739272_370faa17316cc88ee56f8a707e3a08a7&ext=.pdf
- Gomez N. M.; Lima, L.A. 2007.** Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do estado de Minas Gerais. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, campina, v.11.
- Gopal, N.H.; Venkatamaranan, D.; Raju, K.I. 1977.** Physiological studies on flowering in coffee Under South Indian Conditions. II. Change water content, growth rate, respiration and carbohydrate metabolism of flower bud during bud enlargement and anthesis. Turrialba 25: 29-36.
- IDEAS (Iniciativa De Economías Alternativa y Solidaria, CO). 2006.** Boletín N° 14: El Mercado Internacional del Café. Actualización 2006. (En línea). Córdoba,Co. IDEAS. Consultado 17 Sep. 2013. Disponible en: <http://cenida.una.edu.ni/relectronicos/REE71156.pdf>
- INIDE (Instituto Nacional de Información de Desarrollo). 2011.** IV Censo nacional agropecuario, Informe final. Managua, Nic. 64p.
- Israelsen-Hansen. 1979.** Principios y aplicaciones de riego. Editorial Reverté. España.
- Jurguen Pohlan, H; Salazar Centeno, D. 2012.** Diagnóstico, monitoreo y auditoría de las buenas prácticas agrícolas en cafetales a través del sistema de semáforo. (En línea). 1 ed. Managua, Ni. Universidad Nacional Agraria. Consultado 17 Sept. 2013. Disponible en: <http://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENF01J95.pdf>
- Lara, L. 2005.** Efecto de la Altitud, Sombra, Producción, y Fertilización, Sobre la Calidad del Café (Coffea arabica L. var. Caturra) Producido en Sistemas Agroforestales de la Zona Cafetalera Norcentral de Nicaragua. Trabajo de Doctorado. CATIE. Turrialba, Costa Rica. Pág. 106.

- Marín, G. 2004.** Forma y dimensiones del bulbo húmedo con fines de diseño de riego por goteo en dos suelos típicos de sabana. La Habana, Cu. 6p.
- Marrero, E. 2006.** Régimen de riego. Managua, Ni. Universidad Nacional Agraria. 183 p.
- Mes, M.G.1957.** Studies on the flowering of *Coffea arabica* L. Portugaliae Acta biologica 4 (4): 328-356.
- Mestre M., A.; Ospina O., H.F 1994.** Manejo de los cafetales para estabilizar la producción en las fincas cafeteras. Avances Técnicos Cenicafé No. 201:1-8.
- Molieri, E. 2013.** Efectos del cambio climático en la caficultura nicaragüense. Guía Agropecuaria. Edición 14. Managua, Ni. 87p
- Munguía, H. Gutiérrez, M. 2012.** Aspectos generales de la problemática de la caficultura en Nicaragua. Memoria: Campaña para el manejo de roya y curso de actualización de producción de café. Universidad Nacional Agraria, Ni.
- Núñez, M. 2000.** Manual de técnicas agroecológicas. Primera edición. En Linea. Consultado el: 24 Junio 2014. Disponible en: <http://www.ambiente.gov.ar/infoteca/aea/descargas/nunez01.pdf>
- Oliveira, E.; Faria, M. 2007.** Manejo e viabilidade econômica da irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro acaíá considerando seis safras. Goias, Br.
- Palma, M.R 2001.** Manual de Caficultura tercera edición. Instituto Hondureño del Café. Tegucigalpa. M.D.C. Honduras, P p 91-101
- Perrin, R., Winkelman, R. (1976)** Formulación de Recomendaciones a partir de Datos Agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Folleto de Información No. 27. México, CIMMYT.
- Puerta-Quintero, GI. 2000.** Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. Cenicafé 51(2):136-150.
- Rahn, E; Läderach,P; Baca, M; Cressy, C; Schroth, G; Malin, D; Rikxoort,H; Shriver,J. 2013.** Climate change adaptation, mitigation and livelihood benefits in coffee production: where are the synergies? (En línea). Dordrecht,NL. Springer Science + Business Media. Consultado 17 Sept. 2013. Disponible en:

http://download.springer.com/static/pdf/443/art%253A10.1007%252Fs11027-013-9467-x.pdf?auth66=1379738957_1dd45944c6682949604bdb56e1bd3d2b&ext=.pdf

- Ramírez, J.E 1996.** Estudios de Sistemas de Podas de Café Por Hileras y Por Lotes. *Agronomía Costarricense* 20(2):167-172.
- Rubens S. 1988.** Crecimiento e producao de cafeeiro e cultivos intercaleres sub diferentes regímenes hídricos. *Anais do VIII Congresso Nacional de Irrigacao e Drenagem*, vol. 1, 41-46, 1988.
- Santos, R; Maestri, M. 1974.** Ritmo de crecimiento del tronco de café. Turrialba, Cr.
- Silva, AC; Lima, LA; Evangelista, POA. 2011.** Características productivas de cafetos Arábica regadas por pivote central en Lavras / MG. *Ciencia del Café*, v.6.
- Silva, A. L.; Faria, M.A. 2006.** Viabilidade técnico-economica do uso do sistema de irrigacao por gojetamiento na cultura do cafeeiro. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, campina*, v.7. n1
- SUÁREZ de C., F. 1957.** Distribución de las raíces del cafeto en un suelo franco limoso. *Boletín Técnico Cenicafé* 1(12): 5-28.
- UNICAFE.1996.** Manual de Caficultura Nicaragüense. Primera Edición. Managua, Nicaragua. Editorial CENACOR. 243p.
- UNICAFE. 1995.** Principales Defectos del Grano que Influyen en la Calidad del Café. IN: *El Caficultor*. Año 3 N° 10. Vicegerencia de Comercialización (Laboratorio de Catacion) Managua, Nicaragua Pp 6.
- WP Evangelista A.; Alves J.; Melo P. 2013.** Respuesta de la cosecha de café para el riego y niveles de fertilización. *Rev. bras. eng. Agric. Ambiente*. vol.17 no.4 Campina Grande en abril 2013

VIII.ANEXOS

Anexo 1. Datos de campo de prueba de velocidad de infiltración.

Tiempo	Intervalo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia entre lecturas	Infiltración Calculada (cm/h)
1	2	3	4	5	6
08:42			12	'----	'----
08:42:30	0.5	0.5	11	1	120
08:43	0.5	1	10	1	120
08:43:30	0.5	1.5	9.5	0.5	60
08:44	0.5	2	9	0.5	60
08:44:30	0.5	2.5	8.5	0.5	60
08:45	0.5	3	8	0.5	60
08:45:30	0.5	3.5	7.8	0.2	24
08:46	0.5	4	7.5	0.3	36
08:46:30	0.5	4.5	7	0.5	60
08:47	'----	5	11	'----	
08:48	1	6	7	4	240
08:49	1	7	6	1	60
08:50	1	8	5	1	60
08:51	1	9	4.5	0.5	30
08:52	1	10	4	0.5	30
08:53	1	11	3.5	0.5	30
08:54	1	12	3	0.5	30
08:55	1	13	2.7	0.3	18
08:56	1	14	2	0.7	42
08:57	1	15	1.5	0.5	30
08:58	1	16	1	0.5	30
08:59	'----	17	11	'----	
09:04	5	22	7.5	3.5	42
09:09	5	27	5.5	2	24
09:14	5	32	3.2	2.3	27.6
09:19	5	37	1.5	1.7	20.4
09:20	----	38	11	'----	
09:25	5	43	8.7	2.3	27.6
09:30	5	48	6.8	1.9	22.8
09:35	5	53	4.8	2	24
09:40	5	58	3	1.8	21.6
09:45	5	63	1.5	1.5	18
09:50	5	68	0	1.5	18
09:51	----	69	12.5	'--	
10:11	20	89	4	8.5	25.5
10:12	----	90	12	'----	
10:32	20	110	5	7	21
10:52	20	130	0	5	15
10:53	---	131	12	'---	
11:13	20	151	3.5	8.5	25.5
11:14	----	152	12.5	'----	
11:34	20	172	5	7.5	22.5
11:54	'----	173	12.5	'----	
12:14	20	193	1.5	11	33
12:44	'----	194	12	'----	
01:14	30	224	1.5	10.5	21
01:44	'----	225	12	'----	
02:14	30	255	1	11	22
02:44	'----	256	12	'----	
03:14	30	286	1	11	22

Anexo 2. Cálculos para la obtención del modelo de velocidad de infiltración.

Tiempo acumulado (min) t	Lámina acumulada (mm) l	log t Xi	log l Yi	Xi2	Yi2	XiYi
0.5	10	-0.3010	1.0000	0.0906	1.0000	-0.3010
1	20	0.0000	1.3010	0.0000	1.6927	0.0000
1.5	25	0.1761	1.3979	0.0310	1.9542	0.2462
2	30	0.3010	1.4771	0.0906	2.1819	0.4447
2.5	35	0.3979	1.5441	0.1584	2.3841	0.6144
3	40	0.4771	1.6021	0.2276	2.5666	0.7644
3.5	42	0.5441	1.6232	0.2960	2.6349	0.8832
4	45	0.6021	1.6532	0.3625	2.7331	0.9953
4.5	50	0.6532	1.6990	0.4267	2.8865	1.1098
6	90	0.7782	1.9542	0.6055	3.8191	1.5207
7	100	0.8451	2.0000	0.7142	4.0000	1.6902
8	110	0.9031	2.0414	0.8156	4.1673	1.8436
9	115	0.9542	2.0607	0.9106	4.2465	1.9664
10	120	1.0000	2.0792	1.0000	4.3230	2.0792
11	125	1.0414	2.0969	1.0845	4.3970	2.1837
12	130	1.0792	2.1139	1.1646	4.4688	2.2813
13	133	1.1139	2.1239	1.2409	4.5107	2.3659
14	140	1.1461	2.1461	1.3136	4.6059	2.4597
15	145	1.1761	2.1614	1.3832	4.6715	2.5420
		12.8878	34.0754	11.9161	63.2438	25.6895
16	150	1.2041	2.1761	1.4499	4.7354	2.6203
22	185	1.3424	2.2672	1.8021	5.1401	3.0435
27	205	1.4314	2.3118	2.0488	5.3442	3.3090
32	228	1.5051	2.3579	2.2655	5.5599	3.5490
37	245	1.5682	2.3892	2.4593	5.7081	3.7467
43	268	1.6335	2.4281	2.6682	5.8958	3.9663
48	287	1.6812	2.4579	2.8266	6.0412	4.1323
53	307	1.7243	2.4871	2.9731	6.1859	4.2885
58	325	1.7634	2.5119	3.1097	6.3096	4.4295
63	340	1.7993	2.5315	3.2376	6.4084	4.5550
68	355	1.8325	2.5502	3.3581	6.5037	4.6733
89	440	1.9494	2.6435	3.8001	6.9878	5.1531
110	510	2.0414	2.7076	4.1673	7.3309	5.5272
130	560	2.1139	2.7482	4.4688	7.5525	5.8095
151	645	2.1790	2.8096	4.7479	7.8936	6.1220
172	720	2.2355	2.8573	4.9976	8.1643	6.3876
193	830	2.2856	2.9191	5.2238	8.5210	6.6717
224	940	2.3502	2.9731	5.5237	8.8395	6.9876
255	1050	2.4065	3.0212	5.7914	9.1276	7.2706
286	1160	2.4564	3.0645	6.0337	9.3909	7.5274
Sumatorias	9750	37.5035	52.2128	72.9531	137.64	99.7702

Ecuación de infiltración $I = Kt^n$ Kostiacov

Aplicando logaritmo a ambos lados

$$\text{Log } I = \log K + n \log t$$

Formando dos ecuaciones para formar las constantes

$$1) \quad 34.0754 = 20 \log K + n (12.8878)$$

$$2) \quad 52.2128 = 20 \log K + n (37.5035)$$

Multiplicando -1 por el signo menos

$$-34.0754 = -20 \log K - 6.60745 (12.8878)$$

$$52.2128 = 20 \log K + 37 (37.5035)$$

$$18.1374 = 24.6157n$$

$$n = \frac{18.1374}{24.6157} = 0.7368$$

Sustituyendo n en 1

$$1) \quad 34.0754 = 20 \log K + (0.7368) (12.8878) \quad 34.0754 = 20 \log K + 9.4960 \quad 34.0754 -$$

$$9.4960 = 20 \log K \quad 24.5794 = 20 \log K$$

$$\text{Log } K = \frac{24.5794}{20} = 1.2289$$

$$K = \text{antilog } 1.2289 = 17$$

Por lo tanto la ecuación de infiltración $I = 17 t^{0.7368}$

Diferenciando la ecuación con respecto al tiempo

$$I = kt^n$$

$$\frac{dI}{dt} = kn t^{n-1}$$

Donde $\frac{dI}{dt}$ es la velocidad de infiltración

Anexo 4. Cálculo de la velocidad de infiltración usando el método de Kostiakov.

Tiempo acumulado (min) t	Lámina acumulada (mm) I	Velocidad de infiltración (mm/hr)
0.5	10	15.03
1	20	12.53
1.5	25	11.26
2	30	10.44
2.5	35	9.84
3	40	9.38
3.5	42	9.01
4	45	8.70
4.5	50	8.43
6	90	7.82
7	100	7.51
8	110	7.25
9	115	7.02
10	120	6.83
11	125	6.66
12	130	6.51
13	133	6.38
14	140	6.25
15	145	6.14
16	150	6.04
22	185	5.55
27	205	5.26
32	228	5.03
37	245	4.84
43	268	4.65
48	287	4.52
53	307	4.41
58	325	4.30
63	340	4.21
68	355	4.13
89	440	3.84
110	510	3.63
130	560	3.48
151	645	3.34
172	720	3.23
193	830	3.14
224	940	3.01
255	1050	2.91
286	1160	2.83

Anexo 5. Niveles de humedad del testigo (0 mm)

Niveles de Humedad Testigo (%)							
Profundidad (cm)	Distanciamiento (cm)						
	60	40	20	0	20	40	60
0	24.4	25	22.9	23.1	24.5	23.1	26.4
20	27.7	20.9	22.4	28.4	28.9	28.7	26.2
40	28.7	29.9	31	30	32.1	29.7	31.5
60	30.7	34	32.2	33.7	34.2	33	33.5

Anexo 6. Niveles de humedad del tratamiento T1 (10 mm)

Niveles de Humedad (%) Tratamiento T1 (10mm)							
Profundidad (cm)	Distanciamiento (cm)						
	60	40	20	0	20	40	60
0	27.01	23.7	26.7	30	27.3	28.6	27.4
20	29.3	27.4	33.7	33.7	33.9	24.9	28.5
40	27.7	28.2	36.9	36.9	30.3	33.7	27.4
60	29.3	31.6	30.5	38.8	34.9	34.8	37.4

Anexo 7. Niveles de humedad del tratamiento T2 (20 mm)

Niveles de Humedad (%) Tratamiento T2 (20mm)							
Profundidad (cm)	Distanciamiento (cm)						
	60	40	20	0	20	40	60
0	23.2	25.8	20.1	22.5	22.9	23.4	26.6
20	28	25	24.7	27.6	29.5	27	30
40	27.2	27.2	25.7	28.5	26.8	23.6	25.8
60	24.3	30.3	29.8	31.9	30	26.8	28.2

Anexo 8. Niveles de humedad del tratamiento T3 (30 mm)

Niveles de Humedad (%) Tratamiento T3 (30mm)							
Profundidad (cm)	Distanciamiento (cm)						
	60	40	20	0	20	40	60
0	26.7	24.9	28.8	22.2	26.8	27	24.7
20	31.5	33.6	29.1	24.8	29.5	22.9	30.6
40	32.7	31.5	29.1	31.8	30.4	20.8	30.6
60	26.8	34.3	30.5	34.4	26.4	23.5	32.8

Anexo 9. Cálculo de las necesidades hídricas.-

Los datos iniciales que participan en la determinación de los parámetros fundamentales del diseño de esta técnica de riego; los que son:

Norma de riego: “Mr”.-

$$M_{r,t1} = \frac{Lámina_{diseño}}{Ea \times Cu} = \frac{10}{0.85 \times 0.92} \approx 12.8 \text{ mm} \cdot d^{-1}$$

$$M_{r,t2} = \frac{Lámina_{diseño}}{Ea \times Cu} = \frac{20}{0.85 \times 0.92} \approx 25.6 \text{ mm} \cdot d^{-1}$$

$$M_{r,t3} = \frac{Lámina_{diseño}}{Ea \times Cu} = \frac{30}{0.85 \times 0.92} \approx 38.4 \text{ mm} \cdot d^{-1}$$

Donde:

Ea.- Eficiencia de aplicación, del riego localizado, según: García, M. P., (2005) señala que en Cuba, para café bajo sombra, oscila entre 0.85 – 0.90.

Cu.- Coeficiente de uniformidad, que, según Pizarro, F. (1987 – 90), al igual que Merriam y Keller, (1974), ambos citados por Quinza Guerrero, et al, (1993), recomiendan el “método del cuarto

$$Cu = \frac{q_m (25\%)}{q_{m,t}} \times 100$$

menor”, o sea:

$q_{m,t}$

aplicándose en procedimiento propuesto

para la toma de datos, para su cálculo, cuando se riega con franjas de humedecimiento, Marrero. E, (2005).

Además, Pizarro plantea que para pendientes $S \geq 2\%$ Cu oscila entre 0.70 – 0.85

↪ Tiempo de riego: “Tr”.-

$$Tr = \frac{\text{Dosis}}{qe \times Ne}$$

Dónde:

Tr: Tiempo de riego; **qe:** Caudal del emisor; **Ne:** Número de emisores por planta.

Dosis : Norma de riego mm * marco de plantación * % humedecimiento

$$\text{tiempo de riego } t_1 = \frac{12.8 * 2 * 0.34}{1.7 \times 3.75} : 1.36 \text{ horas } 1 \text{ hr } 22 \text{ min}$$

$$\text{tiempo de riego } t_2 = \frac{25.6 * 2 * 0.34}{1.7 \times 3.75} : 2.73 \text{ horas } = 2 \text{ hrs } 43 \text{ min}$$

$$\text{tiempo de riego } t_3 = \frac{38.4 * 2 * 0.34}{1.7 \times 3.75} : 4 \text{ horas } = 4 \text{ hrs}$$

Anexo 10. Cálculos de pérdidas por fricción.

Calculo de diámetro de tubería

d = diámetro de tubería

4 = Constante

Q= Caudal $\frac{m^3}{s}$

V= Velocidad $\frac{m}{s}$

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4 * 0.0056}{\pi * 1.2}} = 0.0078 = 3 \text{ ''}$$

Calculo de pérdidas por fricción

Hf : Perdidas por fricción

C : Coeficiente de rugosidad.

Q : Caudal que fluye a través de la tubería. ($\frac{m^3}{s}$)

L: Longitud de la tubería (Metro)

d : Diámetro de la tubería (Metro)

$$hf \text{ t principal} = \frac{10.67}{C^{1.852}} * \frac{Q^{1.852}}{d^{4.87}} * L = \frac{10.67}{140^{1.852}} * \frac{0.0056^{1.852}}{0.078^{4.87}} * 100 = 1.9 \text{ m}$$

Hf real ya que tiene 50 salidas se utiliza el coeficiente de **christiansen** que es 0.365

$$\text{Entonces tenemos} = 1.9 * 0.365 = 0.69 \text{ m}$$

$$hf \text{ lat} = \frac{10.67}{C^{1.852}} * \frac{Q^{1.852}}{d^{4.87}} * L = \frac{10.67}{150^{1.852}} * \frac{0.0012^{1.852}}{0.016^{4.87}} * 100 = 3 \text{ m}$$

$$hf \text{ conducción} = \frac{10.67}{C^{1.852}} * \frac{Q^{1.852}}{d^{4.87}} * L = \frac{10.67}{140^{1.852}} * \frac{0.0056^{1.852}}{0.078^{4.87}} * 230 = 4.37 \text{ m}$$

$$Hf \text{ acc conducción} = 20\% hf \text{ Conducción} = 0.2 * 4.37 = 0.874 \text{ m}$$

$$hf \text{ Succión} = \frac{10.67}{140^{1.852}} * \frac{Q^{1.852}}{d^{4.87}} * L = \frac{10.67}{140^{1.852}} * \frac{0.0056^{1.852}}{0.078^{4.87}} * 20 = 0.33 \text{ m}$$

$$hf \text{ acc succ} = 20\% hf \text{ succión} = 0.2 * 0.33 = 0.066$$

$$CDT = h_s + h_{fs} + h_{faccsuc} + h_{fd} + h_{facc d} + \text{top} + P \text{ Sistema}$$

$$CDT = 20 + 0.066 + 0.33 + 0.874 + 4.37 + 3 + 0.365 + 14.06 = 43.35 \text{ m} = 142.18 \text{ pies}$$

Cálculo de potencia de la bomba

P : Potencia de la bomba en Hp

Q : Caudal en GPM

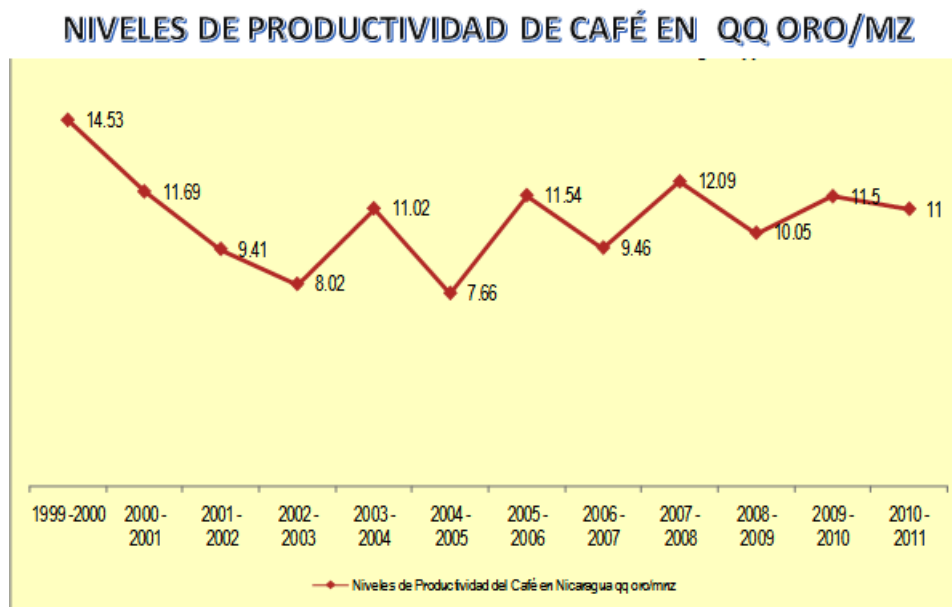
CDT: Carga Dinámica Total

3960 : Constante

EFT : Eficiencia de la bomba

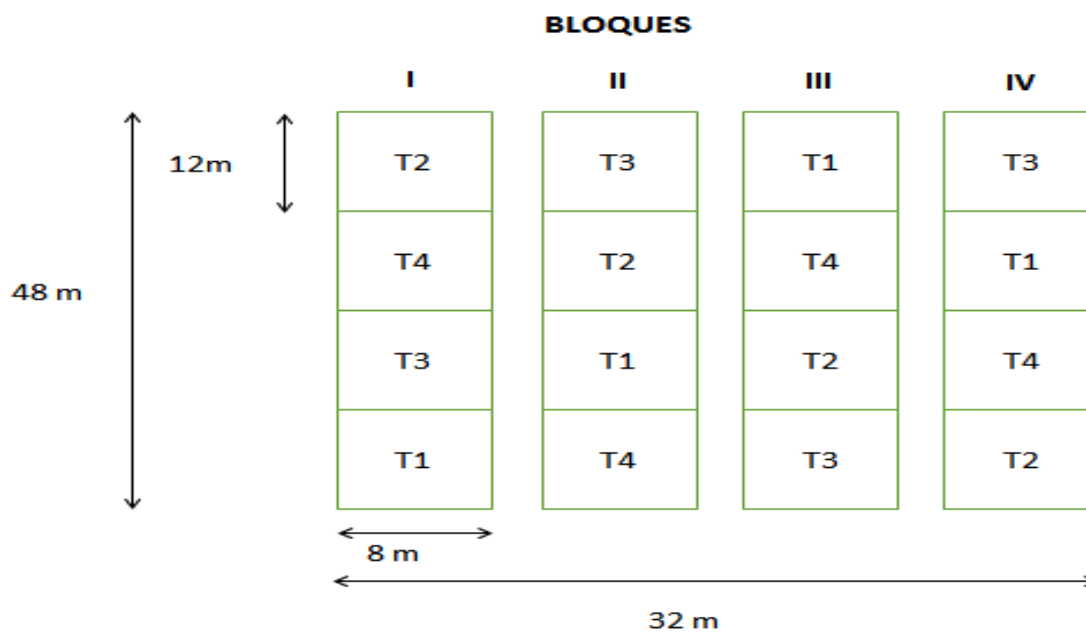
$$P = \frac{Q * CDT}{3960 * EFT} = \frac{90 * 142.18}{3960 * 0.75} = 4.3 \text{ Hp} = 4.5 \text{ Hp}$$

Anexo 11. Niveles de productividad de café oro/mz.

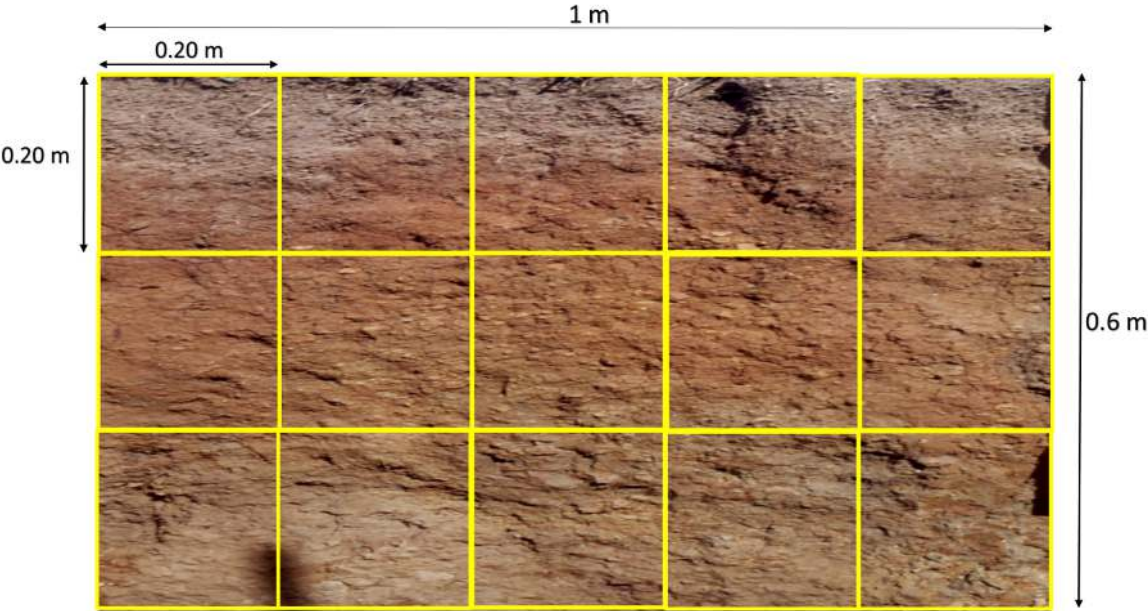


Munguía & Gutiérrez, 2013

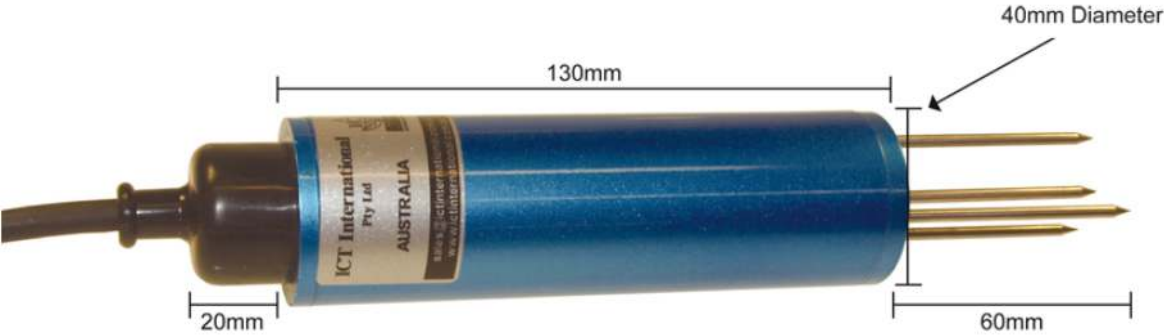
Anexo 12. Plano de campo y distribución de los tratamientos.



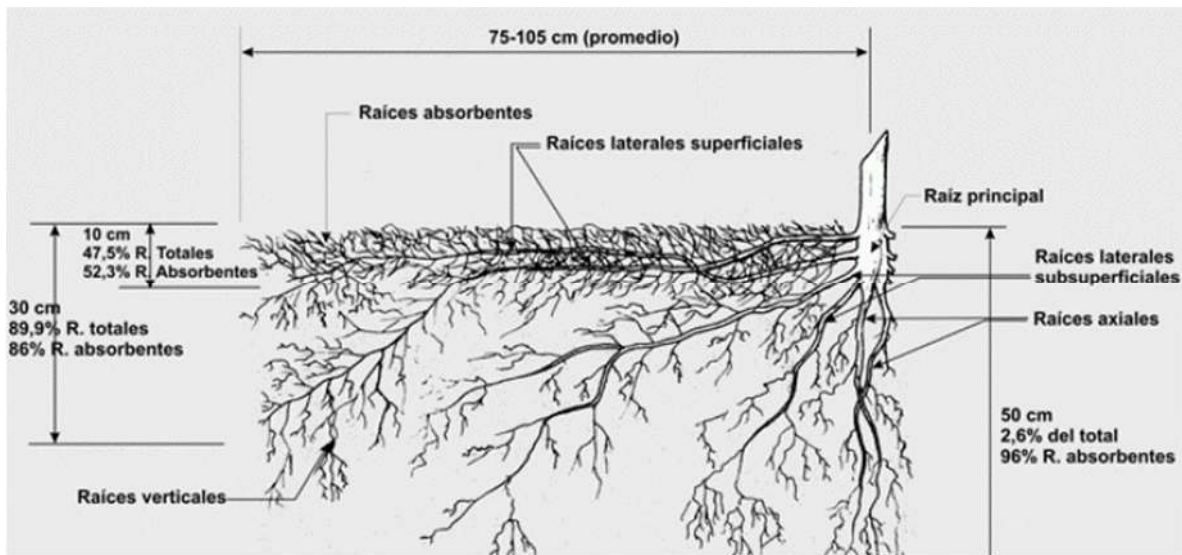
Anexo 13. Delimitación de cuadrículas para el monitoreo de humedad.



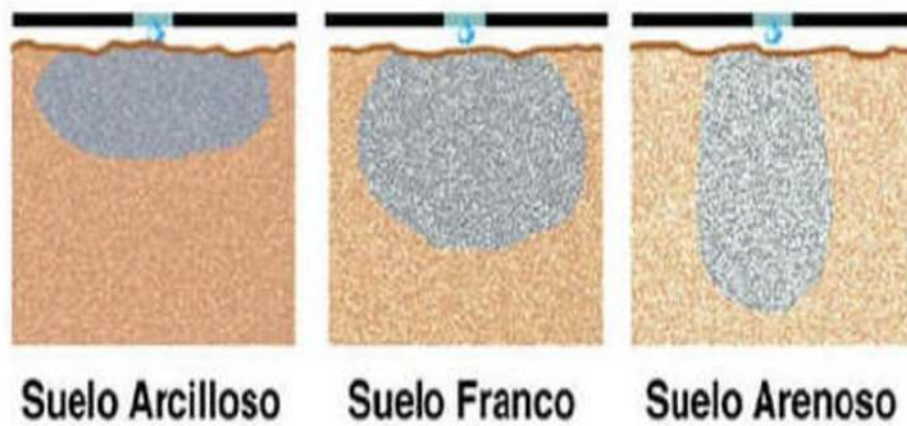
Anexo 14. Sensor electrónico de humedad de suelo modelo *MP406*.



Anexo 15. Morfología y distribución de raíces de una planta de *Coffea arabica* L. Suárez de Castro (1953)



Anexo 16. Bulbo de humedecimiento del riego por goteo según el tipo de suelo. CENTA (2013)



Anexo 17. Costos de producción de la Finca San Dionisio, San Marcos, Carazo, 2013.

Herbicidas	Dosis (lts/ha)	Costo Unitario C\$	Costo Total C\$
Raundup	0.71	64.65	32.325
2-4-D	0.71	88.6	44.3
Gramoxone	1.42	80	80
M.O	1.51	130	137.8
Subtotal			294.425
Insecticida	Dosis (lts/ha)	Costo Unitario C\$	Costo Total C\$
Lorsban	1.32	174.21	162.0153
Endosulfan	1.35	151.06	143.507
M.O	1	130	91
Subtotal			396.5223
Foliales	Dosis (lts/ha)	Costo Unitario C\$	Costo Total C\$
Aminofol	0.29	625.21	131.2941
Omex	0.85	220.86	132.516
Nutriente Verde	0.71	350	175
Urea	6.09	6.09	26.0652
Calcio	0.71	475	237.5
Tropical	0.49	95.67	33.4845
NPK	0.71	429	214.5
M.O	1	130	92.3
Subtotal			1042.6598
Fungicida	Dosis (lts/ha)	Costo Unitario C\$	Costo Total C\$
Duett	0.58	664	272.24
Alto	0.28	1200	240
Subtotal			512.24
Fertilizantes granulado	Dosis (qq/ha)	Costo Unitario C\$	Costo Total C\$
Formula especial	4.26	600	1800
M.O	1.05	130	96.2
Subtotal			1896.2
Cosecha	qq/uva	Costo Unitario C\$	Costo Total C\$
M.O	71.24	130	9261.2
Subtotal			9261.2
Beneficiado	qq/uva	Costo Unitario C\$	Costo Total C\$
Beneficiado	71.24	47.22	3363.9528

Aplicaciones	Total de Aplic	Costo Unitario \$	Costo Total
Herbicidas	3	294.425	883.275
Insecticida	3	396.5223	1189.5669
Foliales	3	1042.6598	3127.9794
Fungicida	2	512.24	1024.48
Fertilizantes granulado	2	1896.2	3792.4
Cosecha	1	9261.2	9261.2
Beneficiado			3363.9528
Costo Total C\$/ Mz			22642.8541
Costo Total \$/ Ha			1271.87

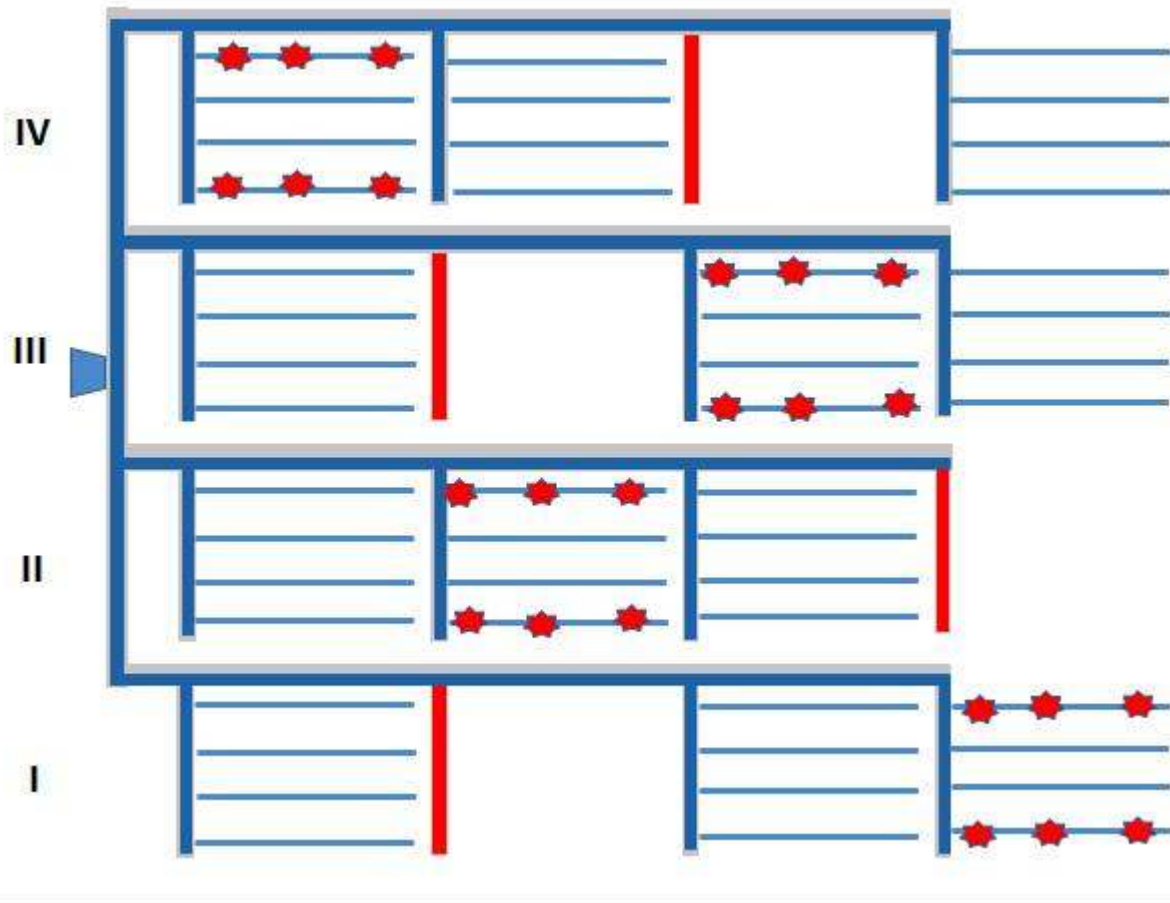
Anexo 18. Prueba de campo de uniformidad de aplicación de riego

Bloque	Punto de muestreo	Caudal (l/h)
I	1	1.7
	2	1.65
	3	1.66
	4	1.58
	5	1.5
	6	1.69
II	7	1.54
	8	1.58
	9	1.52
	10	1.67
	11	1.7
	12	1.7
III	13	1.66
	14	1.54
	15	1.71
	16	1.62
	17	1.59
	18	1.55
IV	19	1.5
	20	1.51
	21	1.59
	22	1.6
	23	1.7
	24	1.69

$$Cu = \frac{\text{Caudal promedio de los 4 caudales menores}}{\text{caudal promedio general}} \times 100$$

$$Cu = \frac{1.5075}{1.6145} \times 100 = 93.37 \%$$

Anexo 19. Distribución de sitios de muestreo para el cálculo de uniformidad de riego.



Anexo 20. Equipos utilizados para medición de variables edafoclimaticas (sensor electrónico de humedad y estación meteorológica)



Anexo 21. Establecimiento del sistema de riego en finca San Dionisio.



Anexo 22. Cuantificación de flores y medición de crecimiento de bandolas.



Anexo 23. Cuantificación de yemas, flores y frutos.



Anexo 24. Costo total de cada tratamiento en 1 hectárea.

Lámina	Costo de manejo (US\$)	Costo del sistema riego (US\$)	Costo de bombeo (US\$)	Costo total
0 mm	1271.87	0	0	1271.87
10 mm	1271.87	898.24	8.49	2178.61
20 mm	1271.87	898.24	16.99	2187.10
30 mm	1271.87	898.24	25.48	2195.60