



*"Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible"*

UNIVERSIDAD NACIONAL GRARIA

FACULTAD DE AGRONOMIA

**Maestría en Agroecología y Desarrollo
Sostenible**

**Evaluación de indicadores agroecológicos en el
cultivo de café (*Coffea arabica* L.) var. CATRENIC,
bajo riego complementario por goteo a pleno sol y
micro aspersión bajo sombra, San Marcos, Carazo,
Nicaragua, 2013-2014**

AUTOR

Ing. Henry Alberto Duarte Canales

TUTORES

**Ing. MSc. Rodolfo Munguía Hernández.
Dr. Víctor Manuel Aguilar Bustamante**

ASESORES

**Ing. MSc. Emilio Marrero García
Ing. MSc. Gerardo Ulises Murillo Malespín**

Managua, Nicaragua

Mayo, 2015



"Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible"

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

Maestría en Agroecología y Desarrollo Sostenible

Evaluación de indicadores agroecológicos en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) var. CATRENIC, bajo riego complementario por goteo a pleno sol y micro aspersion bajo sombra, San Marcos, Carazo, Nicaragua, 2013-2014

AUTOR

Ing. Henry Alberto Duarte Canales

TUTORES

Ing. MSc. Rodolfo Munguía Hernández.
Dr. Víctor Manuel Aguilar Bustamante

ASESORES

Ing. MSc. Emilio Marrero García
Ing. MSc. Gerardo Ulises Murillo Malespín

Managua, Nicaragua
Mayo, 2015



"Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible"

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

Maestría en Agroecología y Desarrollo Sostenible

Evaluación de indicadores agroecológicos en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) var. CATRENIC, bajo riego complementario por goteo a pleno sol y micro aspersion bajo sombra, San Marcos, Carazo, Nicaragua, 2013-2014

AUTOR

Ing. Henry Alberto Duarte Canales

*Presentado a la consideración del Honorable Tribunal Examinador
como requisito para optar al grado de Maestro en Ciencias en
Agroecología y Desarrollo Sostenible*

**Managua, Nicaragua
Mayo, 2015**

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCION	PÁGINA
DEDICATORIA	<i>i</i>
AGRDECIMIENTO	<i>ii</i>
INDICE DE CUADROS	<i>iii</i>
INDICE DE FIGURAS	<i>iv</i>
INDICE DE ANEXOS	<i>v</i>
RESUMEN	<i>vi</i>
ABSTRACT	<i>v</i>
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
III MARCO TEÓRICO	4
3.1 El cultivo de café en Nicaragua	4
3.2 Indicadores de sostenibilidad en el manejo agroecológico en café	5
3.2.1. Indicadores de calidad del suelo	8
3.2.2. Estado de la sombra	11
3.3 Efecto del cambio climático en el cultivo de café	12
3.4 El riego en café	13
IV MATERIALES Y METODOS	15
4.1 Ubicación del área de estudio	15
4.2 Clima del área experimental	15
4.3 Establecimiento del ensayo	16
4.4 Variables a evaluar en el ensayo I y II	18
4.4.1 Parámetros hidrofísicas del suelo	18
4.4.2 Variables físicas de suelo	19
4.4.3 Variables de crecimiento del café	20
4.4.4 Variables de fructificación	21
4.4.5 Variables de producción	21
4.4.6 Análisis económico para el estudio I y II	24
4.5 Análisis de datos	25
V RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
5.1 Parámetros hidrofísicos para el manejo del riego	26
5.1.1 Velocidad de infiltración del suelo	26
5.1.2 Niveles de humedad	27
5.1.3 Capacidad de campo	31
5.1.4 Densidad real y Densidad aparente	31
5.1.5 Porosidad del suelo	32
5.2 Crecimiento vegetativo	32
5.2.1 Nudos y crecimiento de bandola	33
5.3 Curva de crecimiento en materia seca y acumulación de nutrientes en frutos de café bajo riego por goteo a pleno sol	35

5.4	Derrame productivo del café en riego por goteo y micro aspersión	38
5.5	Calidad física del grano en riego por goteo y micro aspersión	42
5.6	Indicadores agroecológicos de sostenibilidad en café	47
5.7	Análisis de presupuesto parcial	55
5.8	Relación beneficio costo	57
VI	CONCLUSIONES	59
VII	BBLIOGRAFIA CONSULTADA	60
VIII	ANEXOS	68

DEDICATORIA

A:

Dios nuestro señor por haberme brindado salud y permitido seguir adelante en mis estudios y poder culminar con éxito, esta nueva fase de mi vida profesional.

A mi familia especialmente a mis padres **Ventura Justa Canales Madariaga y Pedro José Duarte Cáceres**, a mis **Herman@s** por su amor, comprensión y apoyo incondicional en la realización y cumplimiento de cada una de mis metas.

Ing. Henry Alberto Duarte Canales

AGRADECIMIENTO

A:

Mis tutores: **MSc. Rodolfo Munguía Hernández** y **Dr. Víctor Manuel Aguilar Bustamante** por su valioso apoyo y acompañamiento en el transcurso del desarrollo del trabajo de tesis.

A mis asesores: **MSc. Emilio Marrero García** y **MSc. Gerardo Ulises Murillo Malespín** por su valioso apoyo y acompañamiento en el transcurso del desarrollo del trabajo de tesis.

A los **Ing. Jonathan Josué Tercero Mercado, Gustavo Josué Cortes Mojica, María José Rojas Rojas** y **Tatiana del Socorro Avellán Gámez** por el apoyo en la recopilación de los datos durante el transcurso del ensayo y su amistad incondicional.

A los **MSc. Álvaro Benavidez Gonzales** y **MSc Juan Carlos Moran Centeno** por la revisión del texto y sugerencias realizadas.

Al proyecto *CAFADAPT* quien financió la 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 disposición y voluntad para aclarar dudas e inquietudes que se me presentaron durante el desarrollo de los cálculos de riego.

Al **Dr. Domingo Rivas** por su apoyo y disposición en la descripción y caracterización del suelo donde se llevó a cabo el ensayo.

Ing. Henry Alberto Duarte Canales

ÍNDICE DE CUADRO

CUADRO		PÁGINA
1	Caracterización físico-química del suelo	15
2	Ensayo y tratamientos evaluados en el cultivo de café, San Marcos, Carazo.	18
3	Significación estadística en los efectos principales para la variable área foliar del cultivo de café.	33
4	Significación estadística en los efectos principales para la variable Nudos productivos, Nudos potenciales y crecimiento de bandola en el cultivo de café.	34
5	Variables de calidad física del grano en el cultivo de café bajo riego por goteo, 2013	42
6	Variables de calidad física del grano en el cultivo de café bajo riego por micro aspersión, 2013.	44
7	Rendimiento en kg ha ⁻¹ de los ensayos I y II en grano uva y pergamino. San Marcos, Carazo, 2013.	46
8	Valores asignados a los indicadores de calidad de suelo y salud de cultivo de café, finca San Dionisio, Carazo, Nicaragua, 2013.	51
9	Análisis de presupuesto parcial para los tratamientos evaluados. San Marcos, Carazo, 2013.	56
10	Análisis de utilidades y relación beneficio costo	57

ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA		PÁGINA
1	Indicadores agroecológicos de calidad de	6
2	Ubicación del municipio San Marcos, Carazo (INETER, 2002).	15
3	Comportamiento de las precipitaciones y temperaturas mínimas, máximas y medias mensuales en el municipio de San Marcos, Carazo (UNA, 2013).	16
4	Velocidad de infiltración e infiltración acumulada del suelo. Finca san Dionisio, San Marcos, Carazo 2013-2014	26
5	Niveles de humedad en el Testigo (0 mm)	28
6	Niveles de humedad en el tratamiento T1 (10 mm)	28
7	Niveles de humedad en el tratamiento T2 (20 mm)	29
8	Niveles de humedad en el tratamiento T3 (30mm)	29
9	Niveles de humedad en el tratamiento riego en la superficie (0.25 m)	30
10	Niveles de humedad en el tratamiento riego encima del café (2 m)	30
11	Curvas de acumulación de nutrientes por los frutos de café, desde la floración hasta la cosecha, bajo riego por goteo a pleno sol. San Marcos, Nicaragua	37
12	Desprendimiento de fruto durante el desarrollo fenológico del café	39
13	Desprendimiento de fruto durante el desarrollo fenológico del café	41
14	Rendimientos obtenidos en los tratamientos, finca San Dionisio San Marcos, Carazo	47
15	Descripción y profundidad del suelo	48
16	Amiba de Comparación de indicadores de calidad de suelo y salud del cultivo de café bajo riego por goteo a pleno sol y micro aspersión bajo sombra, finca San Dionicio, Carazo, mayo, 2013.	52
17	Amiba de Comparación de indicadores de calidad de suelo y salud del cultivo de café bajo riego por goteo a pleno sol y micro aspersión bajo sombra, finca San Dionicio, Carazo, octubre, 2013.	53
18	Distribución de la sombra en el ensayo riego por micro aspersión, finca san Dionisio, Carazo, 2013	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PAGINA
1	Distribución de los tratamientos de riego por goteo en el campo, finca San Dionisio San Marcos, Nicaragua, 2013.	69
2	Distribución de los tratamientos de riego por micro aspersion en el campo, finca San Dionisio San Marcos, Nicaragua, 2013.	69
3	Indicadores agroecológicos evaluados en el cultivo de café. Finca San Dionisio, 2013.	70
4	Monitoreo de niveles de humedades en el suelo de tratamientos evaluados en el cultivo de café, finca San Dionisio, Carazo. 2013.	71
5	Escala para determinar los Indicadores de calidad de suelo y salud de cultivos en cafetales, con sus características y valores correspondientes.	71
6	Descripción y caracterización del suelo en el cultivo de café, finca San Dionisio, San Marcos, Carazo 2013.	73
7	Determinación de velocidad de infiltración e infiltración acumulada del suelo en el cultivo de café, finca San Dionisio, San Marcos, Carazo 2013	73
8	Cobertura del suelo en el cultivo de café, finca San Dionisio, San Marcos, Carazo 2013.	74
9	Estado de sombra en época seca y época de lluvia en el cultivo de café, finca San Dionisio, San Marcos, Carazo 2013.	74
10	Reducción de áreas de cultivo de café provocados por el efecto del cambio climático, Nicaragua, 2013.	74
11	Datos de campo de prueba de velocidad de infiltración	75
12	Cálculos para la obtención del modelo de velocidad de infiltración	76
13	Cálculo de la velocidad de infiltración usando el método de Kostiakov	77
13	Cálculos de velocidad de infiltración e infiltración acumulada	78
14	Cálculo de las necesidades hídricas	79
15	Cálculo de pérdidas por fricción.	80

Duarte C., H. 2015. Evaluación de indicadores agroecológicos en el cultivo de café (Coffea arabica L.) var. CATRENIC, bajo riego complementario por goteo a pleno sol y micro aspersion bajo sombra, San Marcos, Carazo, Nicaragua, 2013-2014.

RESUMEN

El cultivo de café es uno de los principales rubros de exportación de Nicaragua, el cual aporta el 33.6 % del Producto Interno Bruto, y que se encuentra vulnerable ante la amenaza del cambio climático al igual que todos los ecosistemas en el mundo. El objetivo de la presente investigación fue analizar el comportamiento de los indicadores agroecológicos de sostenibilidad en el cultivo de café, bajo riego complementario en la Finca San Dionisio, municipio de San Marcos, Carazo, Nicaragua. Se estableció un diseño de Bloques Completo al Azar (BCA) unifactorial para riego por goteo y un Diseño Completo al Azar (DCA) unifactorial para las técnicas de riego por micro aspersion, a todas las variables se les realizo un ANDEVA y la prueba de rangos múltiples de Tukey ($\alpha=0.05$), las variables evaluadas afectaron Índice de área foliar, el mejor tratamiento fue el riego encima del café y la lámina de 30 mm, Derrame productivo, Nudos potenciales, Nudos productivos, Longitud de bandola encontrando diferencias estadísticas siendo superior los tratamientos con riego en comparación al testigo, calidad física del grano de café no mostraron efecto significativos en los tratamientos evaluados, en la variable rendimiento los tratamientos que obtuvieron los mayores resultados fueron la lámina de 20 mm ($1\ 428.73\ \text{kg ha}^{-1}$) y riego en la superficie 0.25 m del suelo con ($1\ 304.57\ \text{kg ha}^{-1}$), los indicadores agroecológicos salud del cultivo y calidad del suelo se obtuvieron promedios superiores a 7 por encima del umbral agroecológico en el tratamiento riego por micro aspersion bajo sombra y el presupuesto parcial, relación beneficio costo de cada uno de los tratamientos se obtuvieron en el testigo.

Palabras Claves: Cambio climático, Láminas de riego, Técnicas de riego

Duarte C., H. 2015. *Evaluation of agro-ecological indicators in the cultivation of coffee (Coffea arabica L.) var. CATRENIC under supplementary drip irrigation and micro spray full sun shade, San Marcos, Carazo, Nicaragua, 2013-2014.*

ABSTRACT

The cultivation of coffee is one of the main exports of Nicaragua, which contributes 33.6% of GDP, which is vulnerable to the threat of climate change like all ecosystems in the world. The objective of this research was to analyze the behavior of agroecological sustainability indicators in the coffee crop under supplemental irrigation at Finca San Dionisio municipality of San Marcos, Carazo, Nicaragua. Design randomized complete block (BCA) unifactorial drip irrigation and unifactorial Complete randomized design (CRD) for irrigation techniques is I established micro spray, all variables were performed ANOVA and test ranges multiple Tukey ($\alpha = 0.05$), the variables evaluated affected leaf area index, the best treatment was watering over coffee and 30mm film, productive spill, potential Knots, Knots productive, mandolin length finding statistical differences remain Top irrigation treatments compared to the control, physical quality coffee bean showed no significant effect on the treatments evaluated in the variable yield treatments the best results were obtained sheet 20 mm (1 428.73 kg ha⁻¹) and irrigation on the soil surface to 0.25 m (1 304.57 kg ha⁻¹), the health of the crop and soil quality indicators agro averages over 7 were obtained over the threshold agro irrigation by micro spray treatment shade and the partial budget, cost benefit ratio of each of the treatments were obtained in the control..

Keywords: *Climate change, Foils irrigation, irrigation techniques*

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de café (*Coffea arabica* L.) es el rubro de mayor importancia en el sector agrícola de Nicaragua, ocupa el sexto lugar en el PIB, es el principal producto de exportación con un 18.2 % de las exportaciones totales. Genera aproximadamente 300 mil empleos directos e indirectos que representan el 53 % del total de empleos del sector agropecuario y 14% del total de empleos a nivel nacional. En el país existen 43 mil productores de café, el 93 % de ellos son pequeños productores (de 1 a 5 ha) ubicados principalmente en los departamentos de Jinotega, Matagalpa, Nueva Segovia, Madriz, Estelí y zona alta del Pacífico. Se cultivan un total de 126 468 ha de café aproximadamente, de las cuales 120 847.55 ha fueron cosechadas en el ciclo 2012-2013, con rendimientos promedios de 2 420 a 2 640 kg ha⁻¹ (MAGFOR, 2013).

Según Masera *et al.*, (1999), el café como agro sistema, ejerce un efecto positivo en la regulación del agua, ya que la sombra reduce la evaporación, se propicia una mayor infiltración de lluvia en el suelo. Los árboles mantienen la cobertura natural permanente formada con hojas secas, contribuyen a la reducción de la erosión hídrica, mejora el microclima, asimilan y fijan el carbono y mantienen o mejoran la fertilidad del suelo, y constituyen en hábitat para la biodiversidad. Asimismo, conserva los procesos de reciclaje de nutrientes y crea el ambiente ideal para el paisajismo y fomento del turismo.

La producción del café ésta condicionada por la variación climática, esta afecta las fases fenológicas del cultivo durante el desarrollo del mismo (Camargo, 2010). Las variaciones en la temperatura del aire ocasiona amarillamiento de las hojas, muerte de tejidos y brotes; las temperaturas mayores a 30 °C reducen la fotosíntesis y provocan aborto de flores (Pérez & Geissert, 2006). De igual manera, las irregularidades de las condiciones ambientales influyen en el comportamiento de las enfermedades que afectan al cultivo del café (MAGFOR, 2013). Esto sumado al efecto antropogénico que conlleva una tendencia generalizada de reducción en la producción agropecuaria, ocasionando grandes pérdidas en los últimos años en los países de Centroamérica (FAO, 2008).

El cambio climático se entiende como un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera del planeta, a esto hay que sumarle la variabilidad natural del clima. Este fenómeno está relacionado estrechamente con la alimentación de la humanidad, puesto que conlleva una tendencia generalizada de reducción en la producción agropecuaria, ocasionando grandes pérdidas en los últimos años en los países de Centroamérica (FAO, 2008).

Para reducir el impacto del cambio climático en la caficultura se debe de considerar el desarrollo de variedades con mayor eficiencia productiva y adaptada a condiciones ambientales, manejo cultural del cultivo para mejorar el microclima e implementación de riego debido al déficit o irregularidad de las lluvias.

Una posible estrategia de adaptación del cultivo del café a los efectos del cambio climático es el empleo de riego localizado por goteo y micro aspersión (Silva, 1987), ya que incrementa la producción, al reducir el aborto floral y caída del fruto hasta en un 57 %. Además, hay ahorro de agua, energía, mano de obra, automatización de sistema y posibilidad de adaptar a las condiciones del suelo y topografía, así como el empleo de fertirrigación, lo que haría sostenible al sistema de cultivo del café. Destacando que el ensayo se llevó a cabo en la finca San Dionisos la cual cuenta con sistemas de bombeo y riego por goteo instalados en el campo regando el cultivo de café por esta razón aprovechamos las instalaciones para llevar a cabo la investigación de láminas de riego y riego por micro aspersión en café.

II. OBJETIVOS

En base a las consideraciones anteriores señaladas en el estudio se pretende desarrollar los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL

Evaluar los indicadores agroecológicos en el cultivo de café, bajo riego complementario por goteo a pleno sol y micro aspersion bajo sombra, en la Finca San Dionisio, municipio de San Marcos, Carazo, Nicaragua (Ciclo 2013-2014).

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Caracterizar las condiciones biofísicas del sistema de producción de café y las propiedades físicas del suelo para el manejo del riego, en la finca San Dionisio, San Marcos.
2. Comparar tres láminas de agua por goteo (10, 20 y 30 mm) y su efecto en la floracion, crecimiento vegetativo, acumulación de nutriente en los frutos y producción del café a pleno sol.
3. Determinar el efecto del riego por micro aspersion con lámina de 20 mm a 2.0 m encima del café y 0.25 m de la superficie del suelo, en la floracion, crecimiento vegetativo, acumulación de nutriente en los frutos y producción del café bajo sombra.
4. Analizar con indicadores agroecológicos, la sostenibilidad del café bajo riego complementario por goteo a pleno sol y micro aspersion bajo sombra.
5. Estimar el beneficio/ costo del riego por goteo y micro aspersion establecido en el cultivo de café.

III MARCO TEÓRICO

3.1. El cultivo de café en Nicaragua

En Nicaragua se cultiva café en zonas bajas localizados principalmente en la región del Pacífico, con alturas promedios de 200 - 600 msnm, precipitaciones anuales de 1 400 a 1 600 mm y temperatura promedio de 28 °C, los suelos se caracterizan por ser profundos, moderadamente llanos. Las zonas altas se localizan en las regiones norte y central del país ubicadas de 600 a 1 500 msnm, con suelos de topografía irregular y profundidades variables, temperaturas promedios entre 20 y 22°C (Guharay *et al.*, 2000).

Los principales departamentos donde se cultiva café en Nicaragua son: Región Central Norte: Jinotega, Matagalpa, Boaco, Nueva Segovia, Madriz y Estelí y en la región del Pacífico: Carazo, Managua y Granada. Existen tres tipos de manejo de las plantaciones de este cultivo, como son: Café Tradicional, Café con insumos Químico y el Café con insumos orgánico (Silva, 1987).

Nicaragua, es el quinto país del mundo más vulnerable al cambio climático, que debe adaptarse a este fenómeno para proteger, sobre todo, al sector agropecuario que genera más del 60 % de las exportaciones, y aporta el 33.6 % del Producto Interno Bruto (PIB). El producto que corre mayor riesgo es el café oro, de acuerdo informe del Ministerio Agropecuario y Forestal, (MAGFOR, 2013), al año 2050 la zona dedicada al cultivo del café se reducirá en un 60 % por variaciones de las temperaturas (CATIE, 2002).

Se cultivan aproximadamente 126 622, 38 hectáreas de café, siendo el de mayor área el departamento de Jinotega (35 %), seguido de Matagalpa (28 %), Nueva Segovia (24 %), localizados en el norte del país y pacífico sur (13 %) con las mayores extensión el departamento de Carazo (MAGFOR, 2012).

El Departamento de Carazo produce anualmente unos 50 mil quintales de café oro, lo que genera más de diez millones de dólares de ingresos, de los cuales un 75 % equivale a los costos de producción y el restante a la ganancia de los cafetaleros (La Prensa, 2012).

El rubro del café juega un papel importante en la economía para los pueblos de Diriamba, Jinotepe y San Marcos por esta razón se le definió como *Triángulo de Oro*. El café sembrado en la Meseta era manejado de forma tradicional, es decir, sin ninguna tecnificación, en su inicio el café que se cultivaba era de la variedad Bourbon, esta variedad necesita abundante sombra para alcanzar altos rendimientos y un micro clima especial con alta humedad ambiental, de manera que el café de la Meseta era cultivado bajo sombra de árboles frutales cítricos como: naranja dulce (*Citrus sinensis*), limón (*Citrus aurantifolia* Christm). Sapotáceas: caimito (*Chrysophyllum cainito* L.), mamey (*Mammea americana* L.), guanábana (*Annona muricata*), zapote (*Pouteria sapota*), níspero (*Manilkara sapota*). Musáceas: banano (*Musa acuminata*), plátano (*Musa sapientum*). Maderables: (cedro real (*Cedrela odorata* L.), Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*). Energético: madero negro (*Gliricidia sepium*)). De manera que el cafetal presentaba característica de bosque, proporcionando a la vez hábitat a una gran diversidad de especie (CATIE, 2002).

3.2 Indicadores de sostenibilidad en el manejo agroecológico en café

Los Agroecosistemas, cafetaleros, han sufrido reducciones en su diversidad biológica, producto del manejo convencional efectuado. Tanto los bajos precios del café, así como, los altos costos de producción ejercieron sobre este modelo severos cambios, a ello se le suma la demanda cada vez mayor de café orgánico (Muschler & Bonnemann, 1997).

Uno de los desafíos que enfrentan tanto agricultores, como extensionistas e investigadores es saber en qué estado de salud se encuentra el agroecosistema después de iniciada la conversión a un manejo agroecológico. Especialistas en agricultura sostenible han definido una serie de indicadores de sostenibilidad para evaluar el estado de los agroecosistema (Gómez *et al.*, 1996). Algunos indicadores desarrollados, consisten en observaciones o mediciones que se realizan a escala de finca, para ver si el suelo es fértil y se encuentra bien conservado, si las plantas están sanas, vigorosas y productivas.

Muchos agricultores realizan una conversión desde un sistema de café convencional de monocultivo manejado con insumos agroquímicos, a un sistema más diversificado incorporando árboles de sombra para lograr una producción de calidad y estable dependiente de insumos externos, de manera de bajar los costos de producción y a la vez

conservar los recursos naturales de la finca, tales como suelo, agua y agro biodiversidad (Altieri, 1995).

Entre los indicadores de sostenibilidad de calidad del suelo son: (Caracterización del perfil, profundidad del suelo, infiltración del agua en el suelo, actividad de macro fauna, evidencia de procesos erosivos y cobertura de suelo) y estado de salud de la planta de café (hojas con daño por roya, minador del tallo, frutos brocados y frutos con mancha de hierro, para diseñar agroecosistema que posea una alta resistencia a plagas y enfermedades, una alta capacidad de reciclaje y de retención de nutrientes, así como altos niveles de biodiversidad (Gliessman, 2002).

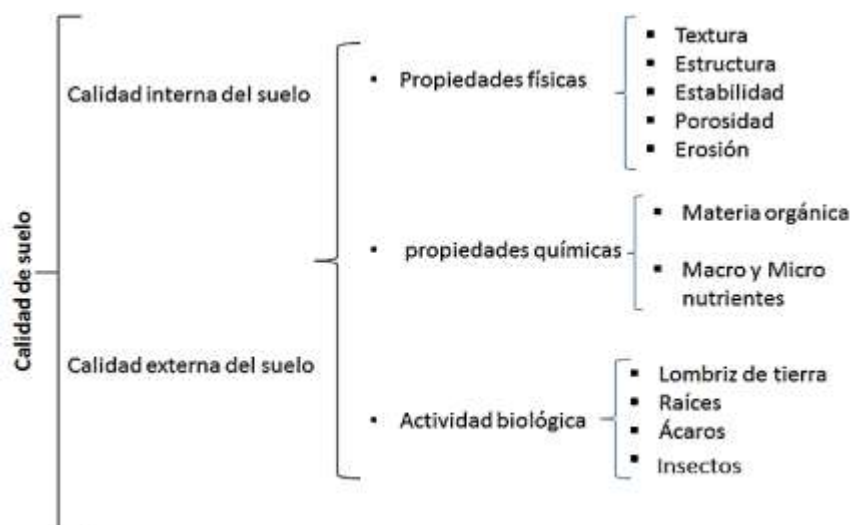


Figura 1. Indicadores agroecológicos de calidad de suelo

Un sistema más diversificado, con un suelo rico en materia orgánica y biológicamente activo, se considera un sistema no degradado, robusto y productivo. En otras palabras, un agroecosistema de café, rico en biodiversidad la cual a partir de una serie de sinergismos subsidia la fertilidad edáfica, la Fito protección y la productividad del sistema, se dice ser *sustentable o saludable* (Fernández & Muschler, 1999).

La *sostenibilidad* se define entonces como un conjunto de requisitos agroecológicos que deben ser satisfechos por cualquier finca, independiente de las diferencias en manejo, nivel económico, posición en el paisaje. Facilitando el estudio de cada agroecosistemas a través del tiempo, o comparaciones entre fincas en varios estados de transición. Quizás lo más

importante, es que una vez aplicado los indicadores, cada agricultor puede visualizar el estado de su finca y cafetal, determinando para cada atributo del suelo o de las plantas, el estado con relación a un umbral preestablecido. Cuando la metodología se aplica en varias fincas, resulta muy útil para los agricultores porque les permite comprender las razones por las cuales algunas fincas tienen una respuesta ecológica superior a otras y que medidas implementar para mejorar aquellos aspectos en que los indicadores mostraron valores bajos (Altieri & Nicholls, 2002).

La metodología empleada por (Altieri & Nicholls, 2002), para el diagnóstico de la calidad del suelo y la salud del cultivo en plantaciones de café. Se usan indicadores sencillos y específicos, estos indicadores fueron evaluados en los cafetales de la zona de Turrialba, Costa Rica, esta metodología puede ser aplicada a una gran diversidad de agroecosistemas en otras regiones. Los indicadores que se utilizaron se seleccionaron porque son fáciles y prácticos de utilizar por los agricultores. Además, son precisos y fáciles de interpretar, sensitivos a los cambios ambientales y al impacto de las prácticas de manejo sobre el suelo y el cultivo, integran propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y pueden relacionarse con procesos del ecosistema, por ejemplo determinan la relación entre diversidad vegetal y estabilidad de poblaciones de plagas.

Cada indicador se estimara de forma separada y se le asigna un valor de 1 a 10 (siendo 1 el valor menos deseable, 5 un valor medio y 10 el valor deseado) de acuerdo a las características que presenta el suelo o el cultivo y los atributos, según las características de cada indicador. Cuando un indicador no aplica para la situación, no se evalúa, o si es necesario, se reemplaza por otro que el investigador y el agricultor estimen más relevante (Altieri & Nicholls, 2002).

Es una herramienta preliminar para evaluar la sostenibilidad de cafetales de acuerdo a valores asignados a calidad de suelo y salud del cultivo. Esta metodología involucra una actividad participativa y es aplicable a una amplia gama de agroecosistemas en una serie de contextos geográficos y socioeconómicos, siempre y cuando, se reemplacen algunos indicadores por otros que sean relevantes para el agroecosistema a evaluar (Altieri & Nicholls, 2002).

3.2.1. Indicadores de calidad del suelo

Los indicadores de calidad del suelo permiten entender como el suelo actúa de forma recíproca con las plantas, animales y ambiente dentro de un ecosistema. La calidad del suelo es una combinación de características físicas, químicas y biológicas. Los indicadores por lo tanto deben ser sensibles, integrados a los procesos de los Agroecosistemas, y medidos a largo plazo deben expresar los efectos antrópicos sobre la calidad de los suelos (FAO, 2003).

Caracterización del perfil y profundidad del suelo

El perfil de un suelo es la ordenación vertical de todos sus horizontes hasta la roca madre. Los horizontes o niveles son capas que se desarrollan en el seno del suelo y que presentan cada uno de ellos (FAO, 2009).

Infiltración del agua en el suelo

Proceso por el cual el agua penetra en el suelo, a través de la superficie de la tierra, y queda retenida por ella o alcanza un nivel acuífero incrementando el volumen acumulado anteriormente. Superada por la capacidad de campo del suelo, el agua desciende por la acción conjunta de las fuerzas capilares y de la gravedad. Esta parte del proceso recibe distintas denominaciones: percolación, infiltración eficaz, infiltración profunda.

Actividad biológica

Las lombrices de tierra al igual que los nematodos, influyen de manera significativa en los procesos del suelo y por esta razón podrían ser usados como especies indicadoras útiles en los efectos de diversas prácticas de manejo de suelos o impactos antropogénicos sobre la calidad del suelo (Blair *et al.*, 1996).

Los dos grupos de invertebrados participan en diferentes niveles de la cadena alimenticia e influyen en el reciclaje de nutrimentos y cambios estructurales del suelo a diferentes escalas y reflejan diferentes ambientes físicos y químicos del suelo. La presencia y diversidad de estos dos grupos puede indicar la calidad y fertilidad de suelo (Blair *et al.* 1996).

Los nematodos reflejan cambios a nivel de micro sitio (poros, agua del suelo y población microbial) mientras que las lombrices reflejan cambios en estos factores y también en factores a gran escala tales como la perturbación a nivel de física de suelo (labranza) y reducciones en la cantidad de materia orgánica presente (Blair *et al.* 1996).

Evidencia de procesos erosivos

La erosión del suelo es un fenómeno natural que es el causante de la pérdida gradual de terreno. La erosión es el proceso por el cual las partículas del suelo se mueven de un sitio a otro por medio de la acción del agua, viento u otro efecto. Es un proceso natural hasta que el hombre interviene utilizando equipo mecánico y acelerando el mismo con el movimiento de terreno para usos agrícolas, desarrollo urbano y para cualquier otro tipo de construcción.

Cobertura del suelo

El uso de coberturas vivas plantadas entre los surcos de café se ha extendido en muchos países productores como una alternativa para el control de las malezas y reducir la contaminación ambiental (Aguilar *et al.*, 1997). Muchas de las coberturas usadas son leguminosas que además de ejercer competencia con las malezas también fijan nitrógeno atmosférico y contribuyen a la economía de este elemento en el sistema (Samson, 1980).

Las coberturas pueden competir por nutrientes con la planta de café, pero si el follaje es dejado en el campo con la descomposición o son cortadas, representan una fuente de reciclaje de nutrientes. Al igual que las coberturas, las malezas proporcionan residuos útiles para la formación de una capa orgánica en el suelo debido a su lenta descomposición.

El control de las malezas es una alternativa que consiste en manejar selectivamente las malezas basadas en su hábito de crecimiento. Con esta práctica se reduce la competencia entre las malezas y también se mantiene una cobertura vegetal para reducir la erosión del suelo (Aguilar, 2001). Las operaciones selectivas son orientadas a las malezas más problemáticas y menos deseadas en el campo (técnica conocida como parchoneo). Entre las malezas que se pueden promover como cobertura natural están murruca (*Oplismenus burmannii* Retz P. Beauv) y zacate ilusión (*Panicum trichoides* Sw).

La altura de estas malezas no alcanza las primeras ramas de las plantas de café, tienen un sistema radical superficial y tienen a favor una cobertura completa sobre el suelo, reduciendo el desarrollo de otras malezas sin competir directamente con las plantas de café (Staver *et al.*, 1997).

Espesor de la capa de hojarasca

En el sistema agroforestal con café, el componente de los árboles y el mismo cafetal contribuyen continuamente a través de la hojarasca, los residuos de poda de los árboles de sombra y de las raíces muertas, al incremento de la materia orgánica del suelo, siendo fuente muy importante para mantener y/o aumentar la fertilidad de los suelos (Anexo 3).

La descomposición de estos restos vegetales ocasionados por la actividad de los microorganismos permite la liberación y mineralización de los nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, etc.) que llegan a la solución del suelo y retornan a la planta vía absorción de las raíces (Fassbender, 1993; Montagnini *et al.*, 1999).

Si la descomposición y liberación de nutrientes es rápida, el cultivo asociado estará menos limitado en sus requerimientos nutricionales. Una lenta descomposición puede ayudar a proteger al suelo de la erosión hídrica por la presencia de hojas en el suelo de manera permanente (Kershner & Montagnini, 1998).

Estado fitosanitario del café

Un elemento clave para implementar el manejo integrado de plagas (MIP) es realizar observaciones sistémicas sobre el estado de las plantas, las plagas y los agentes de control natural especialmente en SAF. Estas observaciones se hacen a través del método de recuento integral de plagas que permite obtener información sobre la incidencia de diferentes plagas y enfermedades durante un solo recorrido por el cafetal (Guharay, 2000). El método permite una precisión adecuada en la determinación de la incidencia de plagas y enfermedades, es práctico y sencillo de realizar, el mismo productor puede ponerlo en práctica una vez recibidas las orientaciones generales.

Diversidad genética

La variabilidad genética o diversidad genética en sentido amplio es el componente más básico de la biodiversidad y se define como las variaciones heredables que ocurren en cada organismo, entre los individuos de una población y entre las poblaciones dentro de una especie. El resto de la biodiversidad se deriva de los procesos evolutivos que operan sobre esas variaciones. De ahí que su conocimiento y comprensión sea de vital importancia tanto para la conservación y el avance de la genética evolutiva, como para la salud, la sustentabilidad y la productividad agrícolas, pecuarias, pesqueras y forestales, la domesticación y la biomedicina. Específicamente, este conocimiento puede ser utilizado en varias orientaciones (Piñero *et al.*, 1988).

3.2.2. Estado de la sombra

En un Sistema Agroforestal con café se pueden determinar variables como son: nivel de sombra total, utilizando distribución de la sombra, nivel de sobre posición y proyección de la copa, distribución y nivel de sobre posición (De Melo & Hagggar, 2005).

Una de las razones fundamentales para el cultivo del café bajo sombra es propiciar el microclima óptimo, que provea la cantidad y calidad de luz solar necesaria para el proceso de fotosíntesis, así como las condiciones adecuadas de temperatura y humedad del ambiente (Siles & Vaast 2002; Siles 2001; ANACAFE, 2010; Zuluaga, 1990).

En este sentido, la sombra filtra y modifica la calidad de la luz que reciben los cafetos (Vaast *et al.*, 2005a). Siles (2001), encontró que los árboles de sombra tienen una influencia significativa en las variables micro climáticas tales como la radiación fotosintéticamente activa (RAFA), temperatura foliar y temperatura.

3.3. Efecto del cambio climático en el cultivo de café

Representa una seria amenaza para las poblaciones centroamericanas por sus múltiples impactos previstos en ellos y en los sectores productivos. En términos fiscales constituye un pasivo público contingente que afectará las finanzas públicas de los gobiernos por varias generaciones. Se estima que para el 2030. Centroamérica aun producirá menos de 0,5 % de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) del planeta (Laderach, 2010).

Adams *et al* (1999), hace referencia que una de las actividades económicas sobre la que más se resentirán los efectos del calentamiento global es la agricultura y entre los efectos principales: la modificación en los cultivos debido a un incremento atmosférico en la concentración de CO₂; mayor probabilidad de un incremento en la población de plagas, y ajustes en las demandas y ofertas de agua para irrigación. Como resultado se espera que la productividad de algunos cultivos importantes disminuya y, en consecuencia, suceda una situación similar en la productividad pecuaria.

De acuerdo con Stern (2006), la evidencia científica indica que el cambio climático es un serio problema global y demanda respuestas urgentes. El calentamiento global afectará los elementos básicos en la vida de los seres humanos, el acceso al agua, la producción de alimentos, la salud y el ambiente. En caso de no tomarse acciones los costos y riesgos podrían ser equivalentes a perder entre 5 % al 20 % del PIB global.

El Café es un cultivo vulnerable al cambio climático y este cambio muy probablemente traerá retos socio-económicos y ambientales debido al cambio en la adaptabilidad del cultivo; por esta razón es esencial identificar y desarrollar estrategias de adaptación desde el nivel de finca hasta el nivel nacional. Para desarrollar estrategias de adaptación es importante conocer los factores decisivos en el cambio. Los modelos de cambio climático predicen que en los próximos años el cultivo de café pierde su adaptabilidad debido a factores relacionados con la variación de la precipitación y la temperatura (PROMECAFE, 2011).

3.4 El riego en café

Varios sistemas de riego se pueden utilizar en el café, tales como: goteo, micro aspersión, manguera perforada, aspersión, pivote central y autopropulsado. La elección del sistema más adecuado depende en varios factores, que pueden resaltar el tipo de topografía y el suelo, suministro de agua (ubicación, el flujo y la calidad), el sistema plantación de la plantación y el costo del equipo y su funcionamiento (Rodas & Cisneros, 2000).

El Sistema de Riego por Goteo, ha sido introducido en el agro y fue adoptado debido a su alto grado de eficiencia, con este sistema se logra minimizar las pérdidas por infiltración profunda y lo más importante, se reduce el escurrimiento superficial. El agua aplicada es solamente la que el cultivo requiere para su crecimiento y producción. Con este sistema sólo se humedece una parte del suelo, de donde la planta podrá obtener el agua y los nutrientes que necesita e implica riegos más continuos. Estas características del riego por goteo nos dan una serie de ventajas tanto agronómicas como económicas (Silva, 1987).

El riego por goteo se ha utilizado en el café debido a algunas ventajas en comparación con otros métodos tales como la alta uniformidad de aplicación del agua, una mayor eficiencia operativa, el ahorro de agua y una menor necesidad de mano de obra. Este sistema puede reducir el problema de la escasez El agua, asegurando buen desarrollo del café. Déficit o exceso de riego puede llevar a la pérdida de productividad y la reducción de rentabilidad.

El Riego en café se ha realizado preferiblemente con el uso del sistema rociadores automáticos a presión o localizados (SOARES, 2001). Los sistemas de riego que se aplican el agua de forma localizada, se caracterizan por ahorro de agua y mano de obra, el gran potencial de la automatización, el mantenimiento de altos niveles de agua en el suelo para mejorar el desarrollo de los cultivos, la capacidad de adaptarse a las condiciones de suelos pedregosos, topografía superficial y empinada, la posibilidad de aplicación de productos químicos en solución en el agua de riego, y se reduce el riesgo de contaminación de los cultivos (SCALOPPI, 1986).

Utilizar el riego cuando las precipitaciones medias anuales son inferiores a los 1 000 mm, es una práctica común en las plantaciones de África. Para el caso del café, los momentos críticos son la floración, el período de crecimiento de bayas y el de desarrollo de la materia seca, cabe mencionar que el riego por goteo tiene una alta eficiencia, poca perdidas por evaporación, pero sus costos de inversión inicial por instalación son elevados (Thomaziello, 1999).

Pacheco (1995), indican que el riego por micro aspersión es un método de riego que en los últimos años ha adquirido gran importancia y aceptación en la agricultura moderna. Los micro aspersores tienen características de distribuir el agua en forma bastante uniforme esta condición permite que se disponga en el terreno sin que exista traslape dentro de sus diámetros de humedecimiento; además se pueden lograr diámetros de humedecimiento que varían de 3 a 11 m y eso va a depender del aumento de la presión en la boquilla y el aumento del ángulo de emisores (Rodas & Cisneros, 2000).

IV MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del área de estudio

El presente 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 2. Ubicación del municipio San Marcos, Carazo. INETER, 2002.

Cuadro 1. Caracterización físico-química del suelo,

Textura			Química				
Arena %	Limo %	Arcilla %	pH	MO %	N %	P ppm	K Meq/100 g
54.13	24.66	21.2	6.12	7.1	0.36	5.43	0.80

De acuerdo con el análisis químico de suelo, realizado en el laboratorio de Suelos y Agua (LABSA) de la Universidad Nacional Agraria (2013), se obtuvieron valores de pH Medianamente ácido (6.12), contenido alto de materia orgánica (7.1 %), Alto en Nitrógeno (0.36 %), pobre en Fosforo (5.43 ppm), alto en Potasio (0.80 Meq/100 g) y una clase textural Franco Arenoso (Arcilla 21.2 %, Limo 24.66 % y Arena 54.13 %).

4.2. Clima en el área experimental

Según Holdridge las condiciones climáticas donde se cultiva café en el Pacífico Sur de Nicaragua corresponden a una zona ecológica de bosques medianos o bajos subcaducifolios de zonas cálidas y semihúmedas. Presentan un clima fresco (26 °C a 28 °C), con precipitaciones desde 1 200 a 1 900 mm. Las zonas presentan altitudes por encima de 500 msnm, corresponden a zonas de vida subtropical húmedo a muy húmedo (bh-S y bmh-S), presentan suelos de origen volcánico pertenecientes al orden de los Mollisoles y Andisoles

con propiedades físico químicas adecuadas para el desarrollo de cultivos anuales, semiperennes, perennes y pasto de uso intensivo (INETER, 2013).

Las mayores precipitaciones corresponden a los meses de mayo a octubre; siendo los meses más calurosos enero a junio las temperaturas máximas oscilan entre 27 °C y 33 °C (Figura 3)

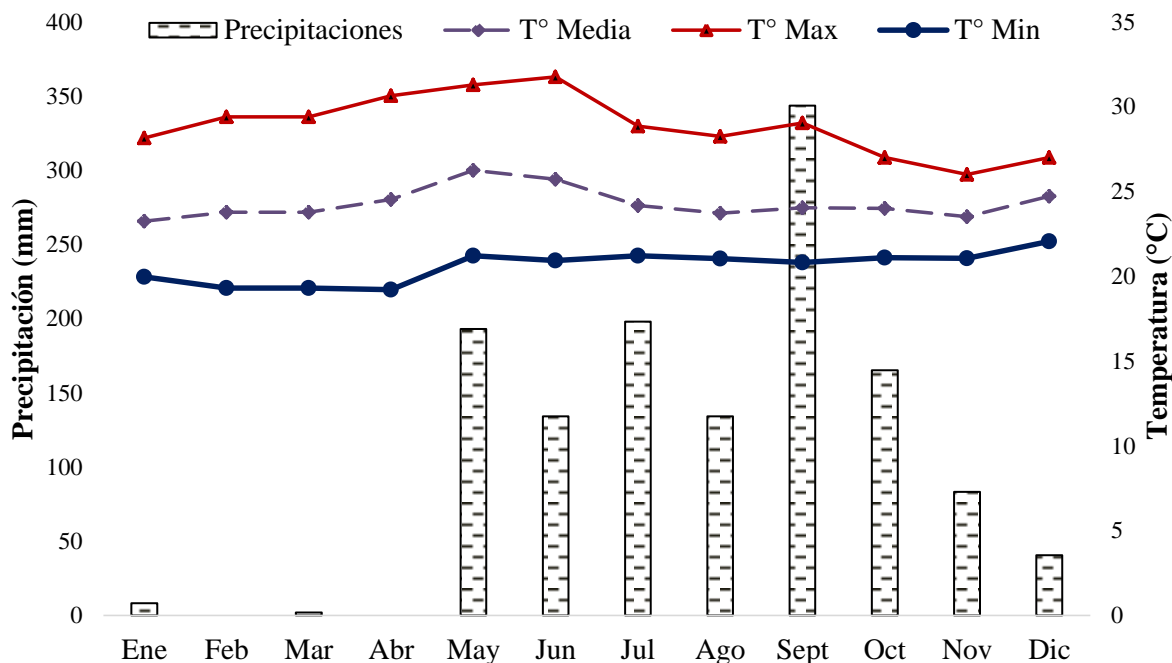


Figura 3. Comportamiento de las precipitaciones y temperaturas mínimas, máximas y medias mensuales en el municipio de San Marcos, Carazo (UNA, 2013).

4.3. Establecimiento del ensayo

El ensayo se estableció en el mes de abril, primeramente se realizó un diagnóstico en el que se tomó en cuenta la edad del cultivo, tamaño del café y medición de las parcelas para poder distribuir los tratamientos en el campo, posteriormente se establecieron los cuatro tratamientos de riego por goteo y las dos técnicas de riego por micro aspersión encima del café a 2 m de altura y en la superficie del suelo a 0.25 m del suelo, cabe señalar que el riego aplicado fue un riego complementario con tres láminas de riego por goteo hasta el momento del establecimiento de las lluvias, cabe señalar que si las precipitaciones eran inferiores a las láminas de riego manejada se regaba. Una vez instalado los sistemas de riego procedió a marcar las plantas seleccionadas que se muestrearon.

Descripción de los tratamientos

Ensayo I Riego por goteo

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA), unifactorial, formado por cuatro replicas. Cada una de las réplicas estaba constituida por cuatro parcelas, cuyas dimensiones fueron 8 m x 9 m (72 m²), con cuatro surcos para un total de 1152 m² en todo el experimento de campo.

Las distancias de siembra fueron 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. Con un factor de estudio de cuatro tratamientos con cuatro repeticiones, establecidos a pleno sol (Anexo 1).

Ensayo II Riego por micro aspersión

Los tratamientos se manejaron en un Diseño de parcelas apareadas, formado por cuatro parcelas. Cada una de las parcelas tenía dimensiones de 8 m x 14 m (112 m²), para un total de 448 m² en todo el experimento de campo.

Se evaluaron dos técnicas de manejo del riego por micro aspersión, por encima del café a (2 m de altura), riego por encima del café regado una vez (2 m de altura), riego sobre la superficie del suelo a (0.25 m del suelo) y riego sobre la superficie regado una vez (0.25 m de altura), aplicando en todas las parcelas una lámina de 20 milímetros por riego, esto con el propósito de aparentar una lluvia errática (Anexo 2).

La distancia de siembra fue 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, dejando dos plantas de borde. Con un factor de estudio para un total de 4 tratamientos con cuatro repeticiones, establecido bajo sombra.

Cuadro 2. Ensayo y tratamientos evaluados en el cultivo de café, San Marcos, Carazo.

Ensayo I	Ensayo II
Láminas de riego (Factor A)	Técnica de riego (Factor A)
a₁ , 10 mm	a₁ , Riego por encima del café (2 m)
a₂ , 20 mm	a₂ , Riego por encima del café regado una vez (2 m)
a₃ , 30 mm	a₃ , Riego en la superficie (0.25 m)
a₄ , Testigo	a₄ , Riego en la superficie regado una vez (0.25 m)

Nota: El Testigo se comparó con en el ensayo de riego por goteo y micro aspersión

4.4. Variables a evaluar en ensayo I y II

4.4.1. Parámetros hidrofísicas del suelo

Infiltración del suelo: Se determinó por medio de los dobles cilindros, se tomó en cuenta las condiciones de humedad del suelo efectuado 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, los cilindros tenían las siguientes dimensiones de 60 cm de diámetro y 30 cm de altura cilindro externo e interno respectivamente 30 cm de altura, los que se instalaron en forma concéntrica cuidadosamente; en el cilindro interior se efectuaron las mediciones mientras que el cilindro exterior tuvo como objetivo evitar el flujo radial del agua durante la prueba de infiltración.

Los materiales utilizados para efectuar las pruebas de infiltración: un trozo de madera, un balde, una regla graduada en cm y mm, cronómetro, pala, balde, un trozo de plástico 80 cm² y la hoja de registro. Una vez colocado se vertió el agua de manera que no haga un contacto directo al suelo. Establecido el sistema, se recopilaron los datos correspondientes como la profundidad de agua en el cilindro externo e interno, luego con una regla graduada en cm se tomaron 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 que el suelo ésta saturado.

Niveles de humedades: Se delimitaron cuadrículas de 60 x 60 cm y cada 20 cm se tomó un punto de muestreo para realizar las mediciones en cada uno de los tratamientos evaluados, con el sensor de humedades de suelo modelo *MP406* (Anexo 3).

Capacidad de campo: Se determinó a través del método de la olla de Richard en el Laboratorio de Suelos y Agua (LABSA), de la Universidad Nacional Agraria

4.4.2. Variables físicas de suelo

Estas variables fueron tomadas 15 días antes de la aplicación de los tratamientos.

Densidad real: Se determinó mediante un muestreo de suelo en el campo y posteriormente se analizaron 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:

Dr: Densidad real (gr/cm³)

G: Es el peso de la parte sólida del suelo (gr)

Vs: Volumen ocupado únicamente por el sólido (sin incluir los poros), (cm³)

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, para su determinación se utilizó la siguiente ecuación.

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

Dónde:

Da: Densidad aparente (gr/cm³)

G: Es el peso de la parte sólida del suelo más los poros (gr)

Vt: Volumen ocupado por el sólido más los poros (cm³)

Porosidad del suelo: 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:

P: Porosidad total (%)

Da: Densidad aparente (gr/cm³)

Dr: Densidad real (gr/cm³)

4.4.3. Variables de crecimiento del café

Cada parcela experimental formada por un total de 22 plantas de las cuales se marcaron al azar 5, 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, para el caso del área foliar se tomaron 10 plantas por tratamiento, tomando en cuenta los siguientes indicadores para evaluar el crecimiento.

Las variables de crecimiento de bandolas como de los nudos potenciales encontrados son la respuesta a la aplicación del manejo del riego, este 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.

Área foliar (m²): Se contabilizó el número total de hojas de las plantas, y cada 20 hojas se procedió a medir el largo de la hoja desde la base hasta el ápice de la misma en cm y el ancho tomado en la parte media de la hoja de borde a borde en cm posterior mente se utilizó la siguiente ecuación:

$$Area\ foliar = \frac{Largo * Ancho}{100} x 0.7243 + 2.8$$

Una vez calculada el área foliar de cada hoja medida, se calculó un promedio para cada planta y después se multiplicó por el número total de hojas que contenía cada planta, luego se realizó un promedio para cada tratamiento.

Longitud de la bandola (cm): Se seleccionaron 10 plantas por tratamiento y se midió la longitud de seis bandolas tomada desde la base de la bandola del tallo hasta la ápice de la misma (2 en la parte alto, 2 en la parte media y 2 en la parte baja) con una cinta métrica en metro.

Nudos potencialmente productivos: Fueron seleccionadas el número total de nudos potencialmente productivos correspondiente a las bandolas en las que se midió el crecimiento plagiotrópico.

4.4.4. 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: Se calculó el porcentaje de caída desde la etapa de yemas florales, 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 tratamientos en estudio.

Número de yemas florales: Se contaron el número total de yemas por bandolas productivas de seis plantas de café y se representaron en porcentaje.

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 por nudo: 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 cada 30 días.

Acumulación de nutrientes en el fruto (mg): Para determinar el contenido de los nutrientes las muestras secas se prepararon en un molino FOSS *CyclotecTM 1093* posteriormente enviadas al Laboratorio de Suelos y Agua (LABSA) de la UNA. Fueron determinados los contenidos de los elementos Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio y Magnesio; se utilizó el método de la digestión sulfoselénica (Digestión húmeda) (Olsen & Dean, 1965).

4.4.5. 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, para su posterior pesaje.

Producción de grano uva por parcela útil (kg): Fueron pesados por cada unidad experimental todos los granos cortados por corte, se realizaron 4 cortes en el mes de diciembre.

Relación grano uva a pergamino: se tomaron cuatro muestras de 2000 g de grano uva por cada tratamiento. Estas muestras fueron despulpadas, fermentadas, lavadas y secadas a temperatura ambiente durante dos meses hasta alcanzar un 12 % de humedad. Luego se dividió el peso final (grano pergamino seco) entre el peso inicial (grano uva).

Rendimiento de grano pergamino seco (kg ha⁻¹): Se determinó 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 (kg ha⁻¹): Se obtuvo basado en la metodología de (ANACAFE, 2011).

Número de granos uva por libra: Se contabilizó el número de grano uvas que conformaban una libra, para cada uno de los tratamientos y replica.

Porcentaje de grano dañado: De una muestra de una libra de fruto en uva, se contabilizó el número de granos dañados por insectos, enfermos y condiciones de clima para cada uno de los tratamientos. Se consideraron los frutos dañados los chasparreados, brocados y flotante así como los granos verde, los que se anotaron de forma independiente.

Indicadores agroecológicos de sostenibilidad en café.

Caracterización del perfil y profundidad del suelo: Se construyó una calicata de 1x1 m, analizando los diferentes horizontes, así mismo se tomó muestra tanto observaciones físicas de micro y macro elementos, se utilizó la metodología propuesta por Altieri & Nicholls (2002), empleando los siguientes criterios:

- ✓ 1 = suelo expuesto
- ✓ 5 = suelo superficial menor de 10 cm
- ✓ 10 = suelo profundo mayores a 10 cm

Infiltración del suelo: Se empleó la metodología del doble cilindro y Altieri & Nicholls (2002), usando los siguientes criterios:

- ✓ 1 = compacto poca filtración
- ✓ 5 = capa compacta delgada, el agua se infiltra lentamente
- ✓ 10 = suelo no compacto el agua se infiltra fácilmente

Actividad biológica: Se empleó el método del cuadro metálico (50 x 50 cm), a una profundidad de 50 cm, contabilizando la macro biota (Anélidos, insectos, arañas y miriápodos), se utilizó la metodología propuesta por Altieri & Nicholls, (2002), empleando los siguientes parámetros:

- ✓ 1 = no se observó macro biota
- ✓ 5 = se observan algunas lombrices y artrópodos
- ✓ 10 = mucha diversidad biológica

Evidencia de procesos erosivos: Empleando la metodología de Altieri & Nicholls, (2002):

- ✓ 1 = erosión severa
- ✓ 5 = erosión evidente pero poca
- ✓ 10 = no hay mayores señales de erosión

Cobertura del suelo y Espesor de la capa de hojarasca: Empleando un marco metálico de 1 m² se determinaron los tipos de malezas encontradas, se usó la metodología de (Altieri & Nicholls, 2002).

- ✓ 1 = cultivos estresados por maleza
- ✓ 5 = presencia media de maleza
- ✓ 10 = cultivo vigoroso, se sobrepone a la maleza

Estado fitosanitario del cultivo: para determinar esta variable se tomaron los dos surcos de café centrales y se seleccionaron cinco plantas al azar, de cada planta dos bandolas de la parte alta, dos del centro y dos de la parte baja de la planta, se contabilizara la cantidad de hojas y frutos afectados por enfermedades y plagas como: roya, mancha de hierro y broca, minador del tallo, se usó la metodología de (Altieri & Nicholls, 2002).

- ✓ 1 = más del 50 % de las plantas con síntomas
- ✓ 5 = entre 20-45 % de las plantas con síntomas leves
- ✓ 10 = menos del 20 % de las plantas con síntomas de enfermedades y daños por plagas

Diversidad genética: La diversidad genética la evaluamos realizando un recorrido por las parcelas experimentales para observar la cantidad de especies genéticas existentes, se usó la metodología de (Altieri & Nicholls, 2002), (Anexo 4).

- ✓ 1 = domina una sola variedad
- ✓ 5 = dos variedades
- ✓ 10 = más de dos variedades

Estado de sombra: En las parcelas con riego por micro aspersion se determinó mediante un recorrido por cada una de las calles del cultivo y se dibujó la proyección de la copa de los árboles en las parcelas experimentales.

4.4.6. Análisis Económico para el estudio I y II

Fue utilizada la 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. Para el presente caso fue considerando el 5% (ANACAFE, 2011).

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.

4.5. Análisis de los datos

Los datos recopilados de las variables en estudio, se manejaron en hojas electrónicas (Excel) para su posterior análisis con el programa Statistical Analysis System (SAS v. 9.1). Se realizó análisis de varianza (ANDEVA) sobre variables agronómicas y de rendimiento, estableciéndose en los dos modelos aditivos lineales de la siguiente manera.

Café a plenos sol con riego por goteo, bloques completos al azar (BCA), unifactorial.

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \alpha_j + \varepsilon_{(ij)}$$

Donde:

i = 4 parcelas

j = 4 replicas

De donde:

- Y_{ij} Es el valor medio de las observaciones medidas en los distintos tratamientos de cada bloque conformado
- μ Es el efecto de la media muestral sobre el modelo
- B_i Es el efecto del *k-ésimo* (parcela)
- α_j Es el efecto de la *j-ésima* replica
- ε Es el error de A $(\alpha\beta)_{ij}$

Café bajo sombra con riego por micro aspersión, diseño completo al azar (DCA), con un arreglo de parcelas apareadas, unifactorial.

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \varepsilon_{(ij)}$$

Donde:

i = 4 parcelas

Donde:

- Y_{ij} Es el valor medio de las observaciones medidas en las distintas técnicas de riego
- μ Es el efecto de la media muestral sobre el modelo
- B_i Es el efecto del *k-ésimo* (parcela con riego técnica de riego)
- ε Es el error de $(\beta)_{ij}$

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Parámetros hidrofísicos para el manejo del riego

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 para el uso eficiente es importante conocer las propiedades hidrofísicas del suelo, estas nos indica cual es la capacidad de almacenamiento de agua que los suelos tienen y la aptitud del drenaje de los mismos. Conocer esto es imprescindible para el manejo del sistema de riego, 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 (CENTA, 2013).

5.1.1. Velocidad de infiltración del suelo.

De acuerdo con los resultado se obtuvo que la infiltración básica del suelo es de 28 mm/h y la velocidad de infiltración del suelo es 42.6 mm/hora como se aprecia en la Figura 4, la velocidad de infiltración es rápida con un rango de 60 a 160 mm/h, 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

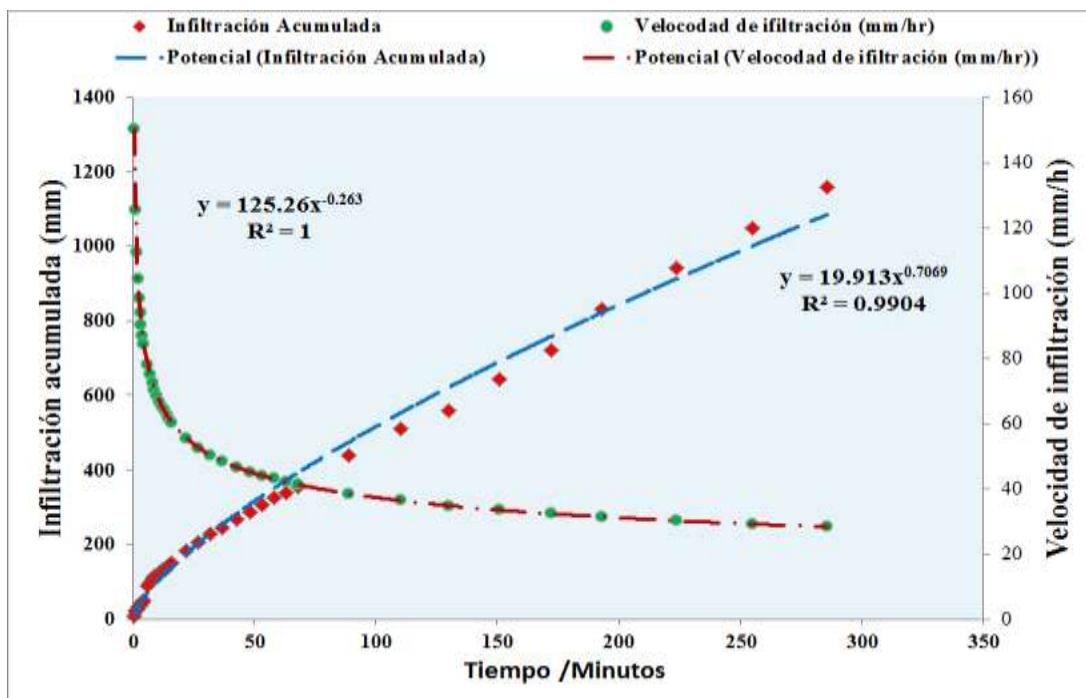


Figura 4. Velocidad de infiltración e infiltración acumulada. Finca san Dionisio, San Marcos, Carazo 2013-2014.

La velocidad de infiltración del agua en el suelo es alta lo que implica una baja capacidad de retención CENTA (2013), menciona 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 la última parte se desplaza hasta una profundidad mayor que la profundidad de raíces; a esta se le conoce como filtración profunda o percolación, dicha 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 (Anexo 5).

5.1.2. Niveles de humedad

Según Suárez de Castro (1957), la mayor cantidad de raíces activas del cafeto 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 nutrimentos a esta profundidad del suelo.

Los niveles de humedad en los diferentes tratamientos, se logró observar que el Testigo presentó humedades a mayores profundidades (Figura 5), mientras que en los tratamientos con riego 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 cafeto.

Esto quiere decir que el riego por goteo no humedeció una gran parte de la zona radicular del café y sumado a la poca disponibilidad de agua que se infiltra siempre es gravitacional por su alta velocidad de infiltración.

CENTA (2013) confirma esta condición, 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.

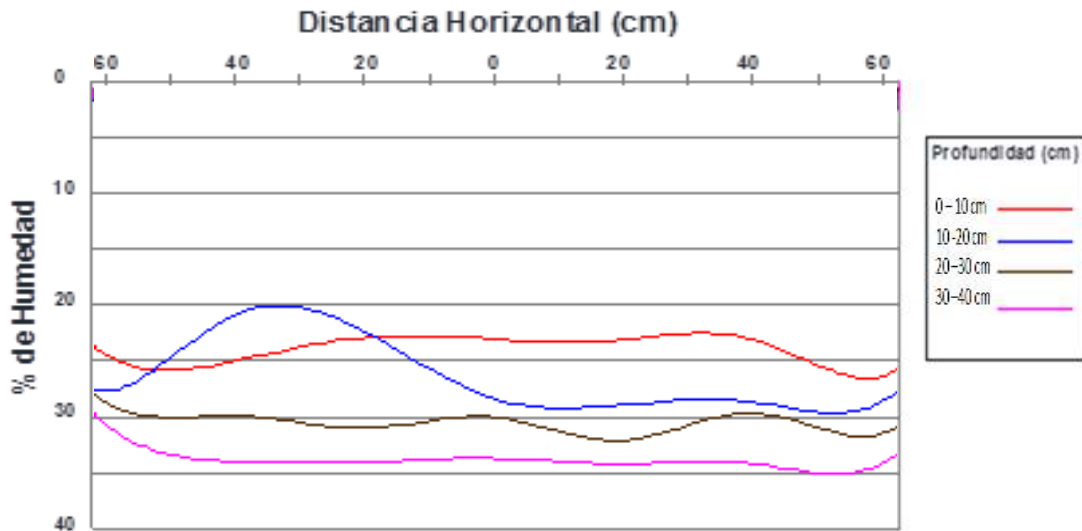


Figura 5. Niveles de humedad en el Testigo (0 mm)

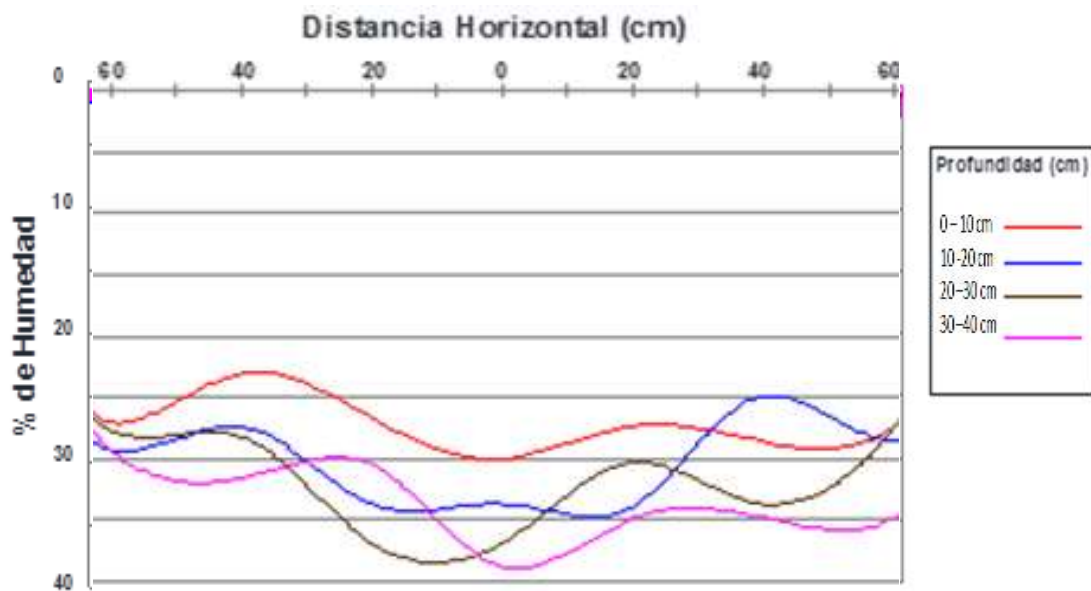


Figura 6. Niveles de humedad en el tratamiento T1 (10 mm)

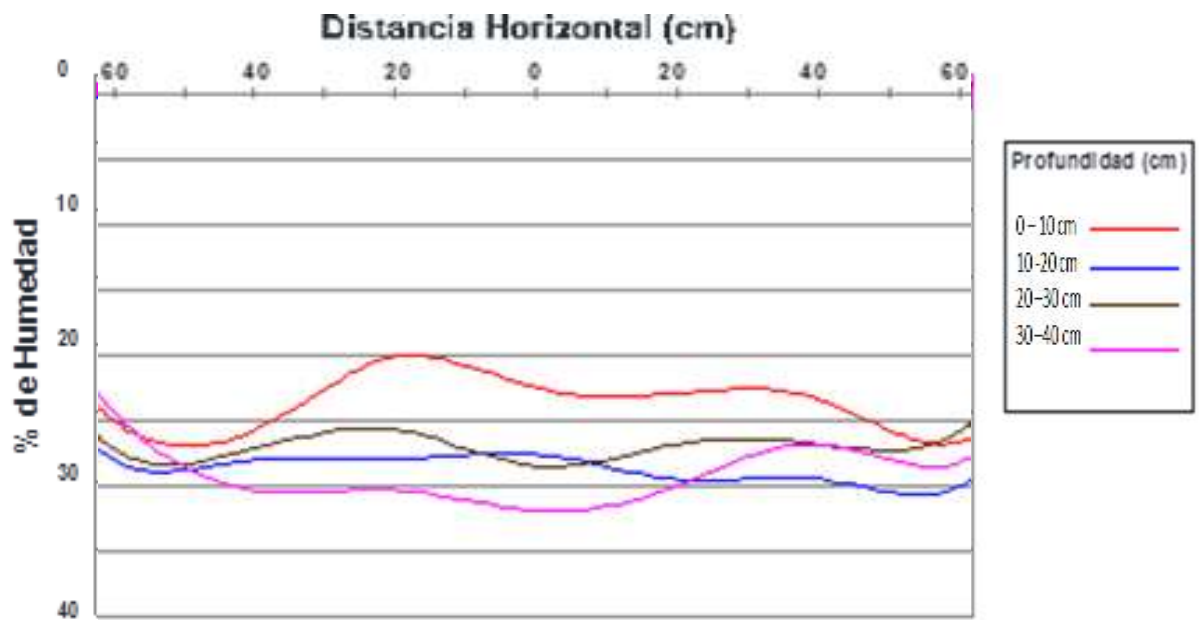


Figura 7. Niveles de humedad en el tratamiento T2 (20 mm)

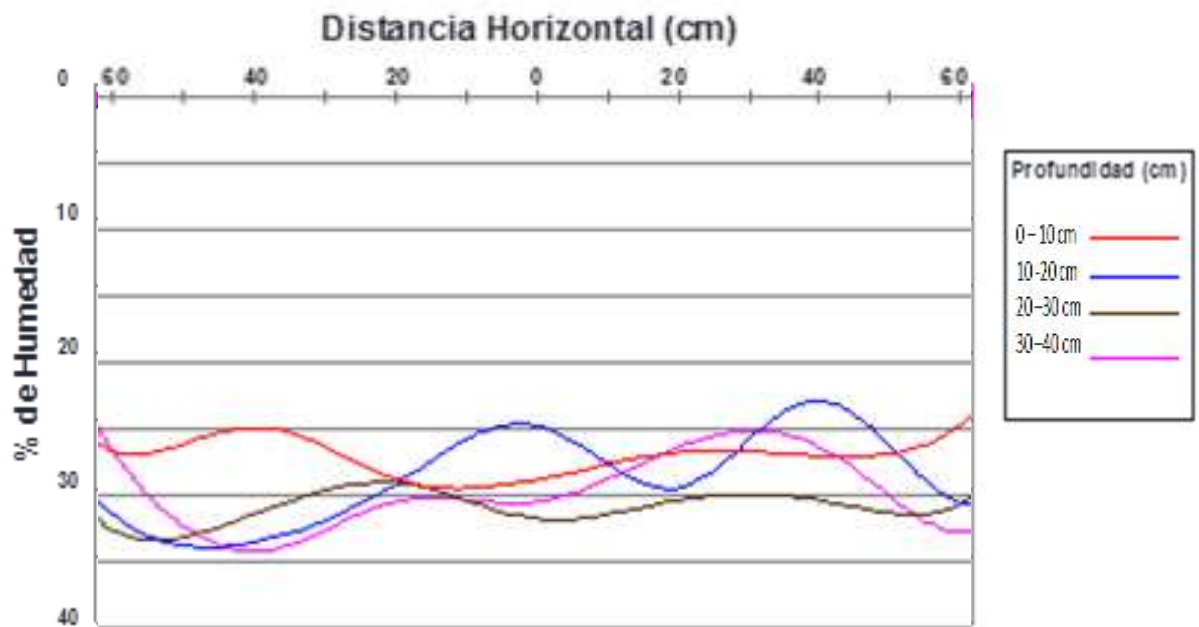


Figura 8. Niveles de humedad en el tratamiento T3 (30mm)

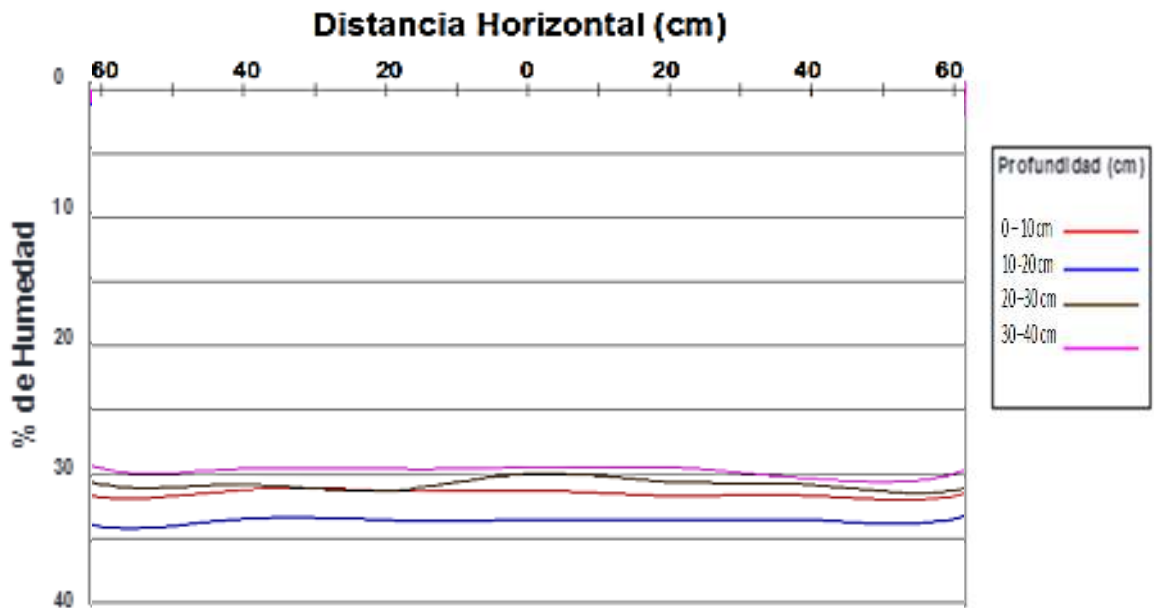


Figura 9. Niveles de humedad en el tratamiento riego por micro aspersión en la superficie (0.25 m con 20 mm)

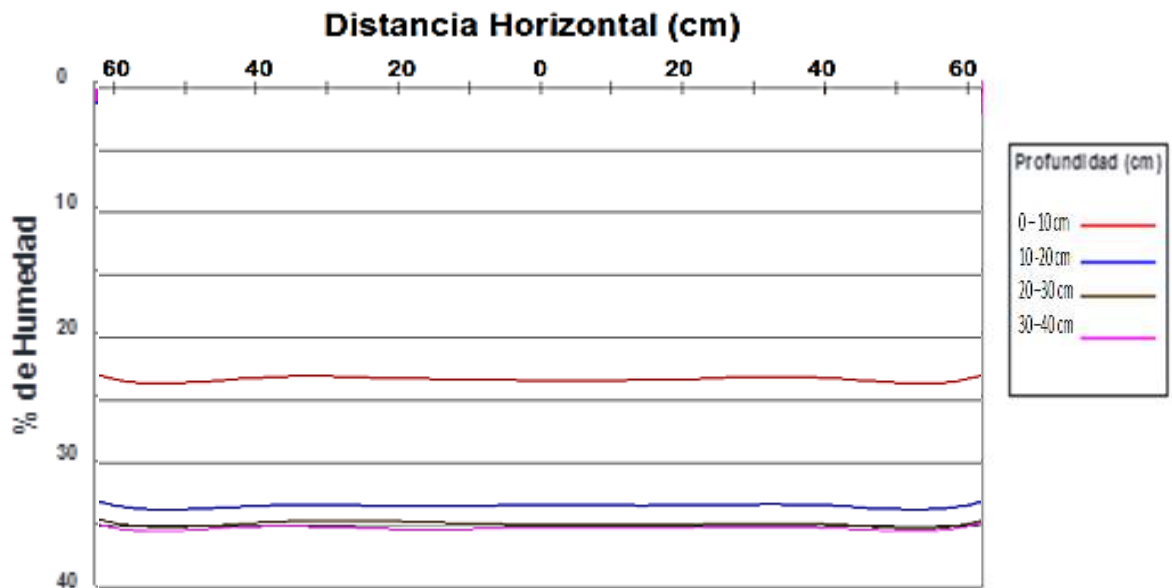


Figura 10. Niveles de humedad en el tratamiento riego por micro aspersión encima del café (2 m con 20 mm)

En las Figuras 9 y 10, se observa el comportamiento del área humedecida por el riego por micro aspersión y como se puede apreciar el riego en la superficie (0.25 m), presento un mayor porcentaje de humedad entre los 30 y 40 cm y por lo tanto mayor cantidad de agua disponible para las raíces, este comportamiento se ven reflejados en las variables de crecimiento vegetativo y el rendimiento.

Mientras tanto en el riego por encima del café presenta un área humedecida en la capa superficial del suelo, el punto donde se concentra el mayor porcentaje de humedecimiento es entre 30 y 40 cm de profundidad, esto se debe a la interceptación que realizan las hojas del café, la cual el micro aspersor deposita la gota de lluvia en las hojas del café y lentamente escurren sobre las hojas, tallo hasta llegar al suelo razón por el cual el comportamiento de humedad en el suelo es lento en comparación con el riego en la superficie.

5.1.3. Capacidad de campo

Los resultados físico químico del suelo indican que la capacidad de campo (CC) es de 20.33 %, lo que se interpreta que la capacidad de retención de agua del suelo es baja. Según Blair (1996), la capacidad de campo de los suelos francos arenosos oscila entre 7.5 y 20.5 %.

Según los resultados del proyecto EDEN-Bureau of Reclam y USDA (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.

5.1.4. Densidad real y Densidad aparente

Según los resultados de las muestras de suelo analizadas, la densidad aparente es de 1.35 g/cm³, densidad real de 2.53 g/cm³, 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, esto se ha ocasionado por la compactación antropogénica o natural del suelo (Núñez, 2000).

5.1.5. Porosidad de suelo

De acuerdo a Marrero (2006), el volumen total del suelo es la parte ocupada por las partículas de suelo y el agua, los resultados obtenidos en el análisis de suelo determinado por el Laboratorio de Suelo y Agua de la UNA, se determinó en un 47.26 % la porosidad. Este valor indica que habrá una buena circulación de agua en el suelo, por lo tanto la definición de la circulación del agua a través del espacio poroso no puede ser considerada un factor negativo para el desarrollo del cultivo.

5.2. Crecimiento vegetativo.

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 uso del riego.

El comportamiento del área foliar del café, para la primera medición muestra que la aplicación de agua por goteo con una lámina de 30 mm supera en un 60.5 % al área foliar en relación al testigo donde no se aplicó agua. Las láminas menores tuvieron una menor influencia, siendo estadísticamente diferentes (Cortes & Tercero, 2014).

Similar comportamiento para el riego por micro aspersión, la técnica de riego por encima del café (2 m) y riego en la superficie (0.25 m) superan al testigo en un 302.23 % y 288.71 % del área foliar, encontrándose en una misma categoría estadísticas las técnicas de riego por encima del café y riego en la superficie regados una vez pero superan al testigo.

Muscheler *et al.*, (1997), menciona que el manejo de café con sombra se mejora el microclima, genera una mejor calidad del café, así también el vigor, crecimiento, se reduce la transpiración, salud y producción, mientras que el café manejado a pleno sol las plantas reducen su productividad y reducen la absorción de nutrientes y agua.

Cuadro 3. Efectos principales para la variable área foliar del cultivo de café, finca San Dionisio, Carazo, Nicaragua, 2013.

Ensayo 1	Láminas de agua	Área Foliar m ²					
		Medición 1		%	Medición 2		%
Riego	Testigo	1.24	b	0.00	4.06	b	0.00
	10 mm	1.40	ab	13.00	4.65	b	15.00
	20 mm	1.52	ab	22.58	6.53	a	60.84
	30 mm	1.99	a	60.48	6.56	a	61.58
<i>Pr > F</i>		0.025		0.032			
Ensayo 2	Técnica de riego						
Riego	Riego por encima del café (2 m)	5.00	a	303.23	9.05	a	122.91
	Riego por encima del café regado una vez (2 m)	3.82	ab	208.06	6.82	ab	70.00
	Riego en la superficie (0.25 m)	4.82	a	288.71	6.92	ab	70.44
	Riego en la superficie regado una vez (0.25 m)	3.04	b	145.16	4.82	b	18.72
	<i>Pr > F</i>	0.031		0.029			

*Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente (TUKEY, $\alpha=0.05$),

En el cuadro 3 se muestra 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, en el riego por micro aspersion manejado por encima del café (2 m) y riego en la superficie (0.25 m) se obtuvieron los mayores promedios de área foliar en la segunda medición con 9.05 y 6.92 m², el mayor desarrollo vegetativo manejado por encima del café, siendo diferentes estadísticamente con el resto de los tratamientos

Cisneros & Martínez (2001), obtuvieron resultados similares a este 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.

5.2.1. Nudos y crecimiento de bandola.

El muestreo de la variable nudos productivos fue realizado para el ciclo productivo 2013, el cultivo tenía formada la estructura productiva desde el año anterior y por esta razón no se encontró diferencias estadísticas en ninguno de los tratamientos evaluados, este comportamiento se debe a que todas las plantas estaban en las mismas condiciones

de humedad del suelo, los promedios de nudos productivos oscilaron entre 11.47 y 12.93 (Cuadro 4).

Los nudos productivos varían cada 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 (Ramírez, 1996).

Cuadro 4. Efectos principales del riego para la variable Nudos productivos, Nudos potenciales y crecimiento de bandola en el cultivo de café, finca San Dionisio, Carazo, Nicaragua, 2013.

Ensayo 1	Láminas de agua	Nudos Productivos	Nudos Potenciales	Crecimiento Bandolas (cm)
	Testigo	11.48 a	3.63 b	13.18 b
Riego	10 mm	11.50 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
	<i>Pr > F</i>	0.064	0.042	0.047
Ensayo 2	Técnicas de riego			
Riego	Riego por encima del café (2 m)	11.73 a	7.43 a	23.07 a
	Riego por encima del café regado una vez (2 m)	11.70 a	6.93 a	18.60 a
	Riego en la superficie (.25 m)	11.87 a	5.33 ab	19.43 a
	Riego en la superficie regado una vez (.25 m)	11.20 a	5.13 b	18.90 a
	<i>Pr > F</i>	0.075	0.042	0.063

*Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente (TUKEY, $\alpha=0.05$)

El número promedio de nudos potencialmente productivos se encontró diferencias significativas en los tratamientos con riego. Los cuales fueron superiores al testigo, 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.

En los tratamientos con riego por micro aspersión se obtuvo diferencias estadística con mayores promedios en riego por encima del café (2 m) 7.43 y 6.93, superando al tratamiento riego superficial (0.25 m), con un menor promedio de nudos potenciales y en último lugar el testigo con promedios inferiores.

La formación de nudos potencialmente productivos permitirá un incremento en la producción (Mestre & 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 tanto la productividad 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 será el número de nudos productivos formados. En el Cuadro 4 se reflejan los mayores valores 23.07, 20.03, 19.78 y 19.43 cm correspondiente al riego por encima del café la lámina de 10, 30 mm y al riego en la superficie (0.25 m) respectivamente; siendo el menor promedio el testigo. Estos resultados son similares a los que obtuvieron Cisneros & 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 uso de riego influye directamente en el aumento del crecimiento vegetativo, y esta tiene dependencia de la cantidad y forma que se aplique el agua. Según Borges (2000), el riego en el café 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.

5.3. Curva de crecimiento en materia seca y acumulación de nutrientes en frutos de café bajo riego por goteo a pleno sol.

La acumulación de nutrientes N, P, K, Ca y Mg en los tratamientos se da de manera lenta desde los 30 ddf hasta los 210 ddf, el comportamiento de la acumulación del N se puede observar en la Figura 11 los tratamientos con mayor concentración fueron la lámina de 10, 20 y Testigo entre un rango de 0.43 mg a 0.62 mg. Para el P la acumulación tiene diferentes variaciones durante desarrollo del fruto pero a los 180 ddf a 210 ddf se observó la mayor acumulación en los tratamientos Testigo y la lámina de 20 mm con 0.90 mg y 0.83 mg esto nos indica los momentos óptimos de la fertilización.

Sancho (1999), considera que el comportamiento de las curvas de acumulación se determina las épocas de mayor acumulación de nutrientes durante el ciclo de crecimiento. Esto a su vez permite definir las épocas de aplicación de los fertilizantes en los programas de fertilización, que generalmente deberán ocurrir unas dos semanas antes de los 120 días donde se presenta un alto requerimiento de nutrientes.

La acumulación de Ca a los 120 ddf se da un incremento en el tratamiento testigo 0.52 mg después desciende paulatinamente, en el periodo de los 150 a 210 ddf se encontró una mayor acumulación en la lámina de 10 mm con 0.63 mg, mientras el resto de los tratamientos mostraron igual comportamiento a los 210 ddf.

En cuanto a la acumulación de K a los 30 ddf a 180 ddf la acumulación incrementa lentamente pero con un comportamiento similar en los tratamientos, a los 210 ddf se observan las mayores acumulaciones en los tratamientos Testigo, 20 y 10 mm con 2.00 mg, y el tratamiento con menor acumulación fue la lámina de 30 mm con 1.50 mg.

El comportamiento de la acumulación del Mg tiene un comportamiento similar al Ca, la acumulación de los 30 ddf a 180 ddf incrementa con igual comportamiento entre los tratamientos, a los 210 ddf se da un incremento en el tratamiento de la lámina de 10 mm con 1.60 mg, en comparación a los demás tratamientos lámina de 20, 30 mm y Testigo. A los 210 se observó un nuevo incremento en la acumulación del nutriente de 1 a 1.60 mg de Mg. El comportamiento de la concentración de los nutrientes N, Ca y Mg tienen el mismo comportamiento del Testigo con respecto a los tratamientos con riego, esto obedece al comportamiento de las precipitaciones en estos meses por lo tanto el Testigo no se vio afectado, el incremento que tiene el testigo a los 120 ddf es donde se dio la mayor lluvia precipitada y cabe mencionar este tratamiento lleva un mes de retraso con relación a las láminas de riego.

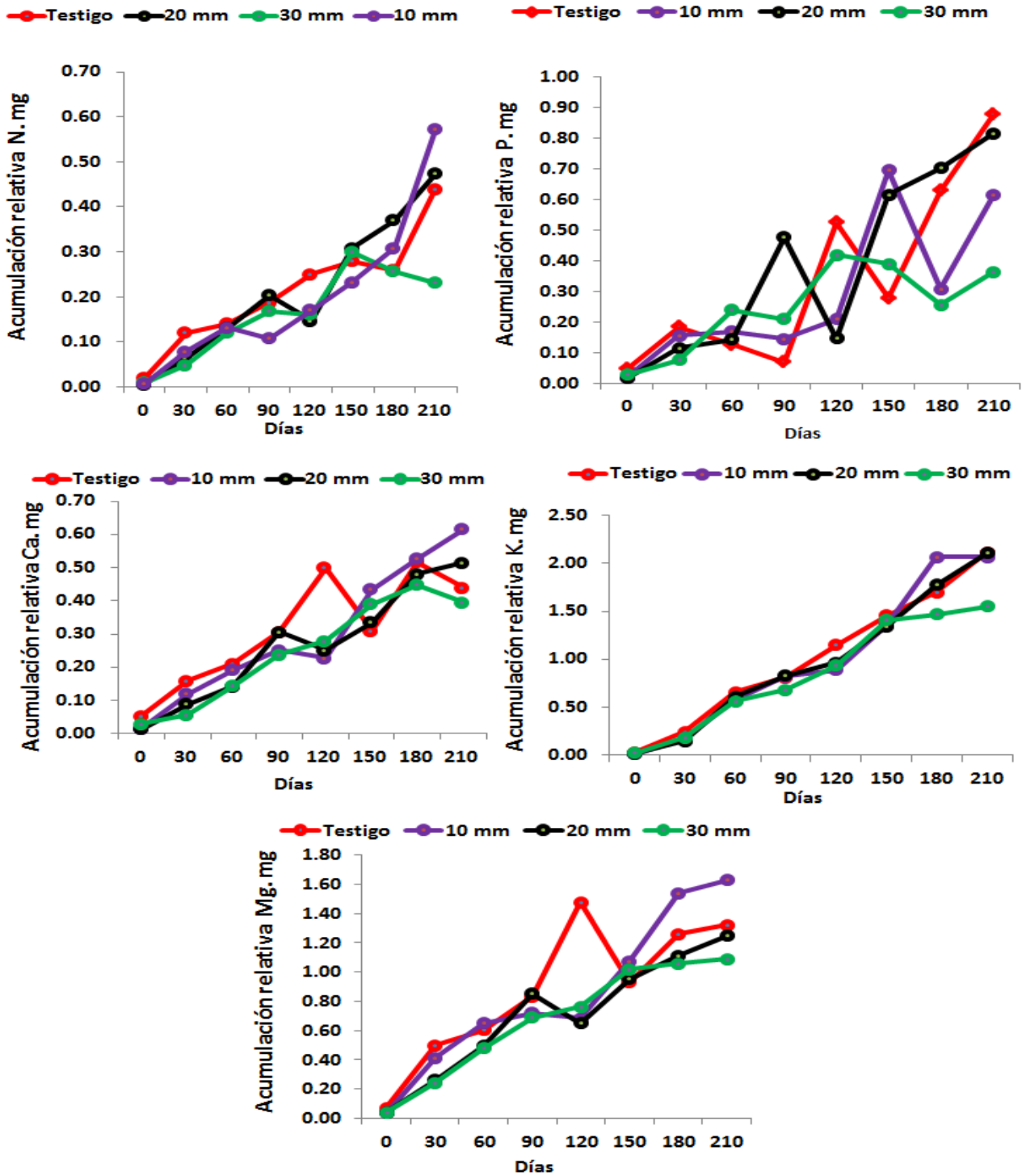


Figura 11. Curvas de acumulación de nutrientes por los frutos de café, desde la floración hasta la cosecha, bajo riego por goteo a pleno sol. Finca San Dionisio, Carazo, Nicaragua, 2013.

5.4. Desprendimiento productivo del café en riego por goteo y micro aspersión

La aplicación de los tratamientos (láminas de riego) inició el día 15 de Abril del 2013, se observó que la floración empezó 9 días después de aplicación del riego en relación al testigo, el proceso de floración fue 10 días después de haberse iniciado las primeras lluvias, el día 12 de Mayo del 2013.

Esta situación es confirmada por 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), las horas luz 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. Briceño (1992), reporta que después de las lluvias se da una abundante floración.

Por otra 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.

Como se muestra en la Figura 12, 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 el testigo pierde hasta un 24 %, 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 % de sus frutos

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

En el periodo de los 119 a 149 ddf se observó que algunas plantas en el área experimental 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 13. El testigo aumentó un 7 %, la lámina de 30 mm en 3.48 %, la lámina de 20 mm en 3 % y la lámina de 10 mm en 0.77 %.

El derrame productivo en el testigo es hasta un 67.48 % y se da a los 3 meses después de la floración. La lámina aplicada de 10 mm pierde hasta un 83.95 % y lo hace 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 el tratamiento de 30 mm tiene un derrame de 71.1 % y al igual que la lámina de 20 mm ocurre durante los 4 meses después de la floración.

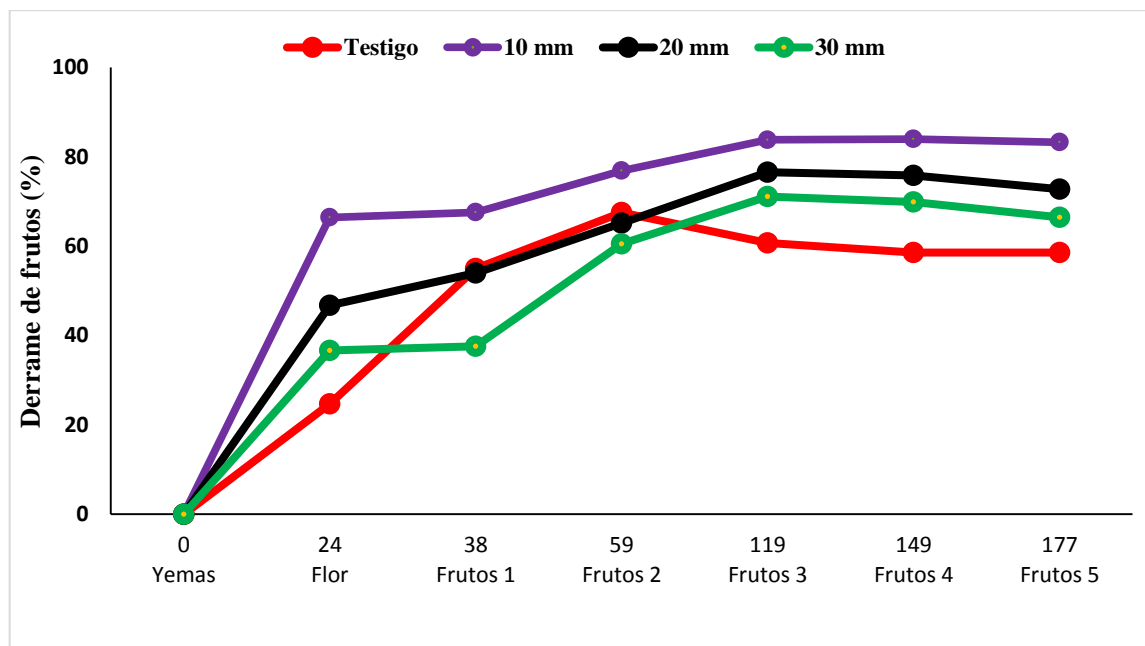


Figura 12. Desprendimiento de fruto durante el desarrollo fenológico del café, finca San Dionisio, Carazo, Nicaragua, 2013.

Según CENICAFE (2010), 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. También las plantas de café del ensayo se encontraban a pleno sol 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.

La floración en el tratamiento testigo fue estimulado por las precipitaciones suficientes, la disminución de temperatura y mayor contenido del suelo en comparación con la floración de los tratamientos irrigados, las condiciones climáticas como; precipitaciones y temperaturas fueron las que favorecieron la floración del testigo con relación a 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.

La caída de frutos ha sido asociada 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 aceptables (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.

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 climas tropicales 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).

En la Figura 13 se observa que 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 por micro aspersión el que obtuvo un menor derrame fue el tratamiento riego en la superficie con un 22 %, seguido por el riego encima del café y el testigo con 26 %, y por último los tratamientos riego por encima del café con 42 % y riego en la superficie regado una vez el cual pierde hasta un 51 % de sus frutos.

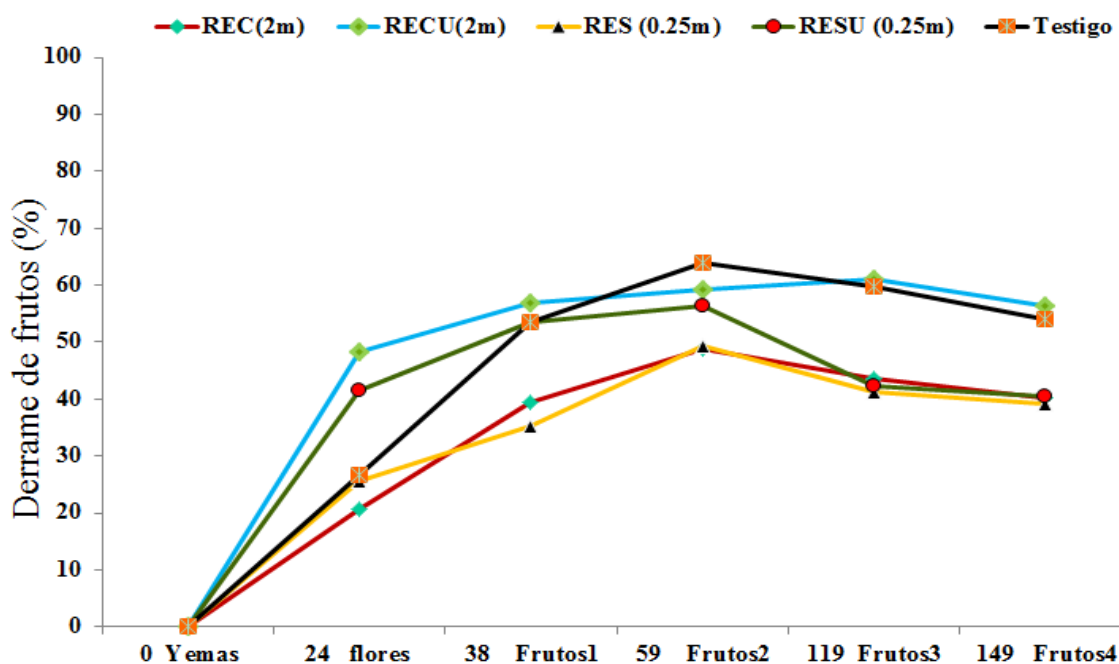


Figura 13. Desprendimiento de fruto durante el desarrollo fenológico del café, finca San Dionisio, Carazo, Nicaragua, 2013.

A los 38 y 59 días continúa el fenómeno del derrame de frutos, pero en este caso los tratamientos con riego lo hacen con menor intensidad. Los tratamientos que tienen un menor derrame son riego por encima del café y el riego en la superficie, pero con un comportamiento similar los tratamientos con riego por encima del café y riego en la superficie regados una vez, pero en este caso el testigo es el que presenta los mayores derrames productivos, cabe mencionar que ésta área del ensayo se encontraba bajo sombra esto ayudo a la reducción de la radiación solar y mejora del microclima, también se puede decir que hay un mejor comportamiento de la humedad en el suelo porque debido a la sombra disminuye la evapotranspiración (Muscheler *et al.*, 1999).

5.5. Calidad física del grano en riego por goteo y micro aspersión

Los parámetros que se cuantificaron para conocer la calidad física del grano de café en base a la aplicación en los diferentes tratamientos, no mostraron diferencias estadísticas, el tratamiento que obtuvo mejor promedio en la medición de número de frutos por libra fue la lámina de 10 mm del riego por goteo con un total de 343 frutos por libra, similar a la lámina de 30 mm con 342.25 frutos por libra.

El porcentaje de frutos verdes fue menor en los tratamientos de 20 y 10 mm con 0.38 y 0.63 % respectivamente, lo que implica que se ha realizado un buen corte en donde se procedió a cortar solo el maduro (rojito). Así también UNICAFE (1995), menciona que los frutos verdes se caracterizan por tener menor peso, esto conlleva a menos tonelajes cosechados. Para el caso del porcentaje de frutos pintos los promedios más altos obtenidos con 4.44 y 4.13 % correspondientes fueron las láminas de 20 y 30 mm.

Cuadro 5. Variables de calidad física del grano en el cultivo de café bajo riego por goteo, finca San Dionisio, San Marcos, Carazo, Nicaragua, 2013.

Indicador %	Pr > F	Tratamientos			
		Testigo	10 mm	20 mm	30 mm
Frutos por libra	0.21	335.25	343.00	330.00	342.25
Frutos Verdes	0.88	1.15	0.63	0.38	0.74
Frutos Pintos	0.19	5.67	5.55	3.44	4.13
Frutos Maduros	0.25	93.16	93.81	96.17	95.12
Frutos Secos	0.07	0.67	1.00	2.17	4.76
Frutos Brocados	0.14	14.11	23.53	29.58	10.46
Frutos Flotantes	0.09	13.89	10.42	12.95	12.56
Frutos Manchados	0.56	3.56	7.72	2.15	3.76

Un indicador importante dentro de los parámetros de calidad es el porcentaje de frutos maduros, los resultados 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 (1996), la presencia de frutos secos es consecuencia de daños ocasionado por la radiación solar (quema del sol) 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 obtuvo un 23.53 % y la lámina de 30 mm con un 10.46 % fue la que presentó el promedio más bajo.

Alvarado & Roja (1998), mencionan que cuando el fruto es atacado por broca del café (*Hypothenemus ampelae* Ferrari) 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.

En el Cuadro 5 se expresan los porcentaje de frutos flotantes en los diferentes tratamientos siendo similares, 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 %.

En el ensayo de riego por micro aspersión, como se muestra el Cuadro 6, los tratamientos que obtuvieron las menores cantidades de frutos por libras fueron riego por encima del café y riego en la superficie con un promedio de 337.10 con respecto a los demás tratamiento, pero estos resultados son similares a los obtenidos en el ensayo manejado con las diferentes láminas por goteo, pero el tratamiento que tubo menor número de frutos fue el testigo con 335.25 frutos.

El menor porcentaje de frutos verdes se obtuvo en el tratamiento riego encima del café y en el Testigo con 0.59 % y 1.15 % respectivamente. Para el caso del porcentaje de frutos pintos los promedios más altos obtenidos fueron 2.67 % y 2.35 % correspondientes a los tratamientos riego por encima del café y riego en la superficie regado una vez. En cuanto al número de frutos maduros los tratamientos que obtuvieron los porcentajes altos de frutos maduros fueron riego encima del café y riego en la superficie con un promedio de 96.74 y 94.07 % de frutos maduros.

Cuadro 6. Variables de calidad física del grano en el cultivo de café bajo riego por micro aspersión, finca San Dionisio, San Marcos, Carazo, Nicaragua, 2013.

Indicador	Pr > F	Tratamientos				
		Testigo	Riego encima del café	Riego encima del café regado una vez	Riego en la superficie	Riego en la superficie regado una vez
Frutos por libra	0.51	335.25	337.10	366.65	337.85	341.62
Frutos Verdes	0.87	1.15	0.59	4.10	1.48	4.40
Frutos Pintos	0.29	5.67	2.67	4.92	4.45	2.35
Frutos Maduros	0.26	93.16	96.74	90.98	94.07	93.26
Frutos Secos	0.08	0.67	3.26	19.40	7.12	12.02
Frutos Brocados	0.19	14.11	0.89	0.55	0.89	0.29
Frutos Flotantes	0.06	13.89	6.53	3.01	5.93	2.93
Frutos Manchados	0.58	3.56	5.34	14.21	11.28	13.49

En el Cuadro 6 se expresan los resultados obtenidos al cuantificar el porcentaje de frutos secos siendo el Testigo el que obtuvo el menor porcentaje con 0.67 %, caso contrario con los demás tratamientos manejados con riego con promedios, el que obtuvo un resultado menos deseable fueron los tratamientos de riego por encima del café regado una vez y riego en la superficie. Esto se debe a que la caída de los frutos se ve influenciada por la radiación solar o porque la cosecha no se hace en el tiempo requerido de corte y el grano se seca en la planta y el riego por goteo estaba a pleno sol mientras que el riego por micro aspersión bajo sombra por lo tanto disminuye la radiación solar y por ende su efecto en los frutos (UNICAFE, 1996).

El tratamiento que muestra mayor porcentaje de frutos brocados fue el Testigo con 14.11 %, y con inferiores porcentajes los tratamientos manejados con riego bajo sombra.

Para la variable frutos flotados se encontraron los mayores porcentajes en el testigo con 13.89 % de frutos flotantes, los tratamientos con menor cantidad de frutos flotante fueron riego encima del café regado una vez y riego en la superficie regado una vez con 3.01 % y 2.93 %, al momento de comparar los tratamiento con riego por goteo de 10, 20 y 30 mm, presentaron valores superiores de frutos flotantes.

Rendimiento del grano.

Los mejores rendimientos obtenidos en el estudio corresponden a los tratamientos de lámina 20 mm, 30 mm y riego en la superficie, seguido por el testigo, riego encima del café y riego en la superficie regado una vez y en último lugar el tratamientos con riego de 10 mm y riego encima del café regado una vez, 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 13).

La relación grano uva grano pergamino realizada obtuvo que la mayor le corresponden a los tratamientos riego encima del café y riego en la superficie seguido por los tratamientos testigo, 30, 20 mm, riego encima del café regado una vez, riego en la superficie regado una vez y en último lugar 10 mm respectivamente.

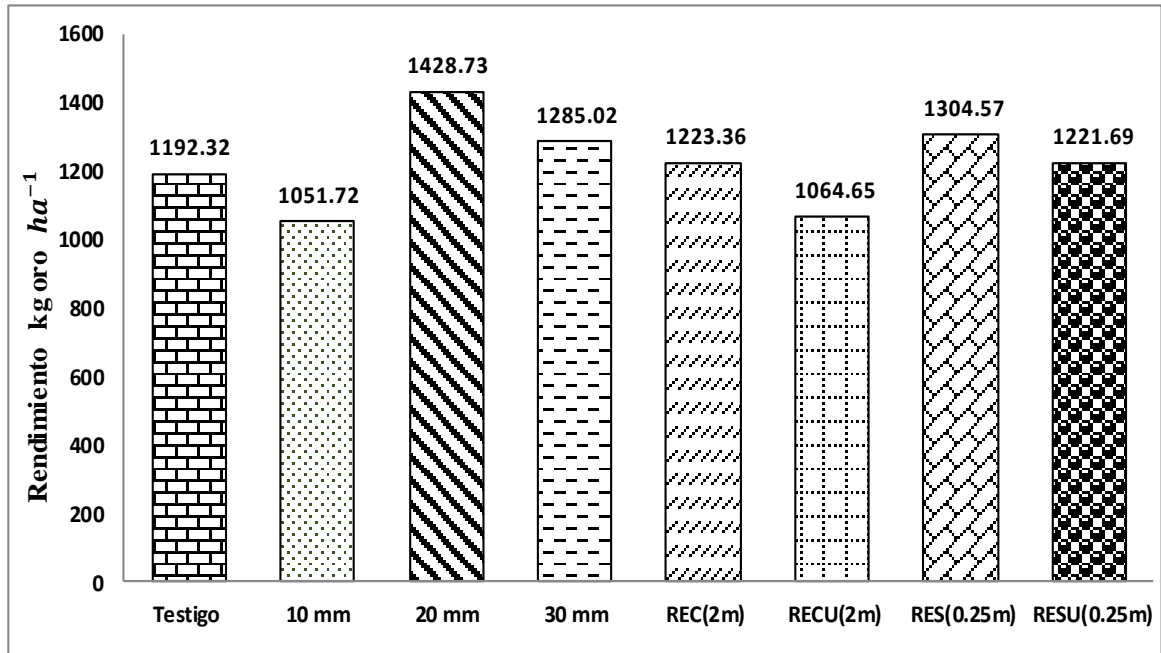
ANACAFE (2011), afirma que la cascarilla suelta o pergamino representa el 5 % del peso total del grano de café. Considerando este dato se calculó el rendimiento en kg ha^{-1} de café oro.

Cuadro 7. Rendimiento en kg ha⁻¹ de los ensayos I y II en grano uva y pergamino, finca San Dionisio, San Marcos, Carazo, Nicaragua, 2013.

Ensayo I	Láminas de riego	Rendimiento en kg ha ⁻¹		Relación Uva Pergamino
		Grano uva	Grano Pergamino	
	Testigo	6 878.59	1 255.07	0.19
Riego	10 mm	6 168.81	1 107.07	0.18
	20 mm	8 176.02	1 503.93	0.19
	30 mm	7 337.43	1 352.66	0.19
<i>Pr > F</i>		0.067		
Ensayo II	Técnicas de riego			
	Riego encima del café	6 911.50	1 285.79	0.21
Riego	Riego encima del café regado una vez	5 438.67	1 119.15	0.19
	Riego en la superficie	7 278.06	1 369.80	0.20
	Riego en la superficie regado una vez	6 391.44	1 282.77	0.19
<i>Pr > F</i>		0.058		

Según Oliveria *et al* (2007), se obtienen mayor producción de grano entre mayor sea la cantidad de agua aplicada. Silva (2006), al contrario en su estudio demuestra menor rendimiento que el testigo el cual obtuvo los mejores rendimientos 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.



*Nota: Testigo = 0 mm, REC = Riego encima del café (2 m), RECU = Riego encima del café regado una vez (2 m), RES = Riego en la superficie (0.25 m) y RESU = Riego en la superficie regado una vez (0.25 m).

Figura 14. Rendimientos obtenidos en los tratamientos, finca San Dionisio, San Marcos, Carazo, Nicaragua, 2013.

En la variable rendimiento en kg ha⁻¹ no se encontró diferencias estadísticas, los tratamientos que obtuvieron los mayores resultados fueron la lámina de 20 mm y riego en la superficie (RES, 0.25 m), seguido la lámina de 30 mm, riego encima del café (REC, 2 m) y riego en la superficie regado una vez (RESU, 0.25 m), en tercer lugar el testigo, y en último lugar con rendimientos menos deseado los tratamientos riego encima del café regado una vez (RECU, 2 m). Estos resultados se basan principalmente con la variable derrame productivo donde los tratamientos que obtuvieron el mayor derrame productivo son los que tienen rendimiento bajo los cuales fueron la lámina de 10 mm y riego encima del café regado una vez (RECU, 2m).

5.5. Indicadores agroecológicos de sostenibilidad en café.

Caracterización del perfil y profundidad del suelo

El suelo donde se estableció el ensayo en la Finca San Dionisio, es un suelo con una profundidad mayor de 1 m lo que favorece el desarrollo del sistema radicular del cultivo, encontrando tres horizontes bien marcados A: 0 – 15 cm, Bw1: 15 – 39 cm y Bw2: 39 a más cm de profundidad, su caracterización se muestra a continuación.

Clasificación taxonómica: Typic Tropudults (finca San Dionisio, San Marcos, Carazo. Cultivo de café)



Foto 15. Descripción y profundidad del suelo

A 0-15 cm. Color 10YR 4/4 en seco y 10YR 3/3 en húmedo; pH 5; franco arenoso; estructura granular media masiva; no plástico ni adherente; abundantes poros medianos y pocos poros finos; muchas raíces finas y pocas raíces medianas; algunas raíces grandes,; limite plano difuso.

Bw1 15-39 cm. Color 10YR 3/4 en seco y 10YR 2/1 en húmedo; pH 5; franco; estructura bloques angulares gruesos; no plástico ni adherente; 20% gravas menores de 3 cm, muchas raíces finas y pocas raíces medianas; limite ondulado difuso.

Bw2 39+ cm. Color 10YR 4/6 en seco y 10YR 1/3 en húmedo; pH 5; franco arcillo arenoso; estructura granular media masiva; consistencia en seco dura y en húmedo friable; no plástico ni adherente; poros medianos abundantes y pocos poros finos; muchas raíces finas y pocas raíces medianas; algunas raíces grandes, limite plano nítido (FAO, 2009).

Otro aspecto importante que se determinó en el estudio del suelo fueron los macro y micro nutrientes presentes en el suelo de la Finca San Dionisio, San Marcos, Carazo, 2013, (Anexo 6). El suelo de la finca presento un horizonte profundo mayor de 1 m, con buen drenaje, esto facilita el desarrollo de las raíces del café y evita la presencia de enfermedades del café.

Actividad biológica

El componente biológico del suelo es fundamental en todos los procesos que ocurren dentro de él, guardando una estrecha relación con la condición y salud de las plantas que soporta el suelo. Para la determinación de los invertebrados se valoró cualitativamente el número de especies y la cantidad de individuos para correlacionar con el estado del suelo y la complejidad de las cadenas tróficas existentes.

La actividad biológica del suelo está determinada por infinidad de condiciones naturales o culturales, que afectan su diversidad y dinámica. El uso intensivo de los controles agroquímicos, fertilizantes de síntesis, prácticas de laboreo inadecuadas, falta de cobertura del suelo y humedad del suelo, hacen que la diversidad y número de organismos disminuyan sensiblemente (Doran, 1994).

La presencia de lombrices señala en primera instancia la baja o alta aplicación de agroquímicos y uso de fertilizantes de síntesis química, ya que son muy sensibles a estas sustancias. Su función en el suelo es el de consumir materia orgánica fresca, mezclar el suelo, aumentar la porosidad, aumentar la disponibilidad de nutrientes luego de su digestión, formación de humus y control de poblaciones de microorganismos. Para facilitar la presencia de las lombrices en la sección de control (Altieri y Nicholls, 2002).

Análisis de los indicadores salud del cultivo y salud del suelo

Los indicadores de salud del cultivo se refieren a la apariencia del cultivo, al nivel de incidencia de enfermedades, como la tolerancia del cultivo al estrés (sequía u otros factores), malezas, crecimiento del cultivo y de las raíces, así como rendimiento potencial. Las observaciones sobre niveles de diversidad vegetal (cantidad de especies de árboles de sombra, e incluso malezas dominantes), diversidad genética (cantidad de variedades de café), se hacen para evaluar el estado de la infraestructura ecológica del cafetal, a sumiendo que un cafetal con mayor diversidad vegetal y genética, con un manejo diversificado aprovecha las sinergias de la biodiversidad, tiene condiciones en su entorno más favorables para la sostenibilidad (Guharay *et al.*, 2001).

En el caso del indicador de calidad de suelo, además de observar directamente signos de actividad biológica como presencia de invertebrados y lombrices, desarrollo del sistema radicular, infiltración del suelo, retención de humedad e incidencia de los procesos erosivos estos son algunos factores que determina la calidad del suelo (Guharay *et al.*, 2001).

Después de realizar el diagnóstico se le asignaron los valores a cada indicador, estos se sumaron y se dividieron entre el número de indicadores que se evaluados y se obtuvo el promedio para la calidad de suelo y la salud del cultivo. Los ensayos evaluados con valores de calidad de suelo y/o de salud del cultivo inferior a 5 se encuentran por debajo del umbral de sostenibilidad, y por lo tanto requieren un manejo que permita mejorar los aspectos en que los indicadores tienen valores bajos (Altieri & Nicholls, 2002).

Durante esta visita, a los ensayos evaluados en la Finca San Dionisio se aplicó la metodología propuesta por Altieri & Nicholls (2002) en el Cuadro 10 se presentan los valores asignados a cada indicador, donde se observa que en el mes de mayo el testigo obtiene un promedio de 4 para calidad de suelo y de 3.8 para salud del cultivo. El ensayo manejado con riego por goteo a pleno sol da promedios positivos en cuanto a calidad de suelo de (7.7) y un poco más bajos en lo que respecta a la salud del cultivo de (6,0) y en el ensayo bajo sombra con riego por micro aspersión presenta mayores promedios con (7.9), un promedio similar salud del cultivo con (7.8), lo que indica que el manejo del café bajo sombra con riego por micro aspersión representa una mejor sostenibilidad.

En el mes de octubre se realizó el segundo diagnóstico de campo, como resultado, se observa que los promedios se incrementaron para riego por goteo a pleno sol para el indicador calidad de suelo fue de (8.4) el incremento, con un promedio inferior el indicador salud del cultivo con (6.0) similar al obtenido en el mes de mayo, para el testigo presenta para calidad de suelo de (6.9) pero con la misma tendencia al riego por goteo en el indicador calidad del cultivo con (4.3) y con respecto al riego por micro aspersión bajo sombra obtuvo los promedios mayores en los dos meses para

calidad de suelo de (8.86) y salud del cultivo de (7.8) con un valor menor pero este ensayo es el que presenta los mejores resultados en comparación con los demás ensayos.

Cuadro 8. Valores asignados a los indicadores de calidad de suelo y salud de cultivo de café, finca San Dionisio, San Marcos, Carazo, Nicaragua, 2013.

Indicadores	Valores Mayo del 2013			Valores Octubre del 2013		
	Riego por goteo	Testigo	Micro aspersión	Riego por goteo	Testigo	Micro aspersión
Compactación e infiltración	8	8	8	10	10	10
Profundidad del suelo	10	10	10	10	10	10
Retención de humedad	3	2	3	7	5	7
Desarrollo de raíces	10	3	10	10	7	9
Cobertura de suelo	10	3	10	9	7	9
Erosión	5	3	6	5	5	9
Actividad biológica	5	2	8	8	4	8
Promedio	7.7	4.0	7.9	8.4	6.9	8.86
Salud del cultivo						
Incidencia de enfermedades	10	8	10	10	10	10
Diversidad genética	1	1	1	1	1	1
Diversidad vegetal	3	1	10	3	2	10
Competencia del cultivo vs maleza	10	5	10	10	8	10
Promedio	6.0	3.8	7.8	6.0	4.3	7.8

AMUSCLAM (2013), reporto en un estudio realizado en tres fincas en el municipio de El Crucero, promedios de sostenibilidad de 8, valor que supera el umbral de sostenibilidad, cabe mencionar que estas fincas están siendo manejadas con sombra, promedios similares a los encontrados en nuestro ensayo riego por micro aspersión bajo sombra en época de lluvia.

Altieri & Nicholls (2002), mencionan que los valores de los indicadores son más fáciles de observarse en figura tipo "**amiba**", en la Figura 16 se presentan los promedios encontrados en el mes de mayo. Se puede visualizar el estado general de la calidad del suelo o la salud del cultivo, considerando que mientras más se aproxime la "amiba" al diámetro del círculo (valor 10) más sostenible es el sistema. Como se observa en la "amiba" las mayores debilidades las obtuvo el testigo con (valores menores a 5), esto nos indica que hay que mejorar las condiciones para corregir ciertos atributos del suelo y

cultivo en el agrosistema. En este caso la intervención para corregir los atributos de calidad de suelo (retención de humedad, cobertura del suelo, actividad biológica y desarrollo de la raíces) para el indicador salud del cultivo es necesario corregirlos atributos (diversidad genética y diversidad vegetal), los atributos mencionados son los que presentaron los promedios por debajo del umbral.

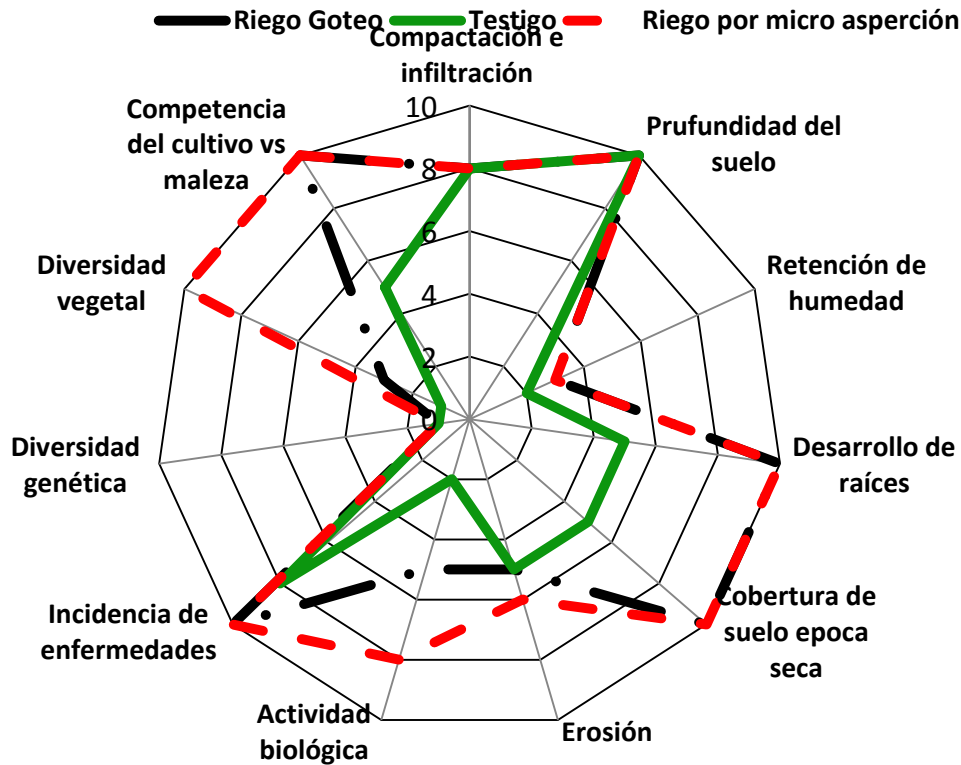


Figura 16. Amiba de Comparación de indicadores de calidad de suelo y salud del cultivo de café bajo riego por goteo a pleno sol y micro aspersión bajo sombra, finca San Dionicio, San Marcos, Carazo, mayo, 2013.

Los valores de los indicadores en el ensayo para el mes de octubre se observan en la Figura 17 tipo "amiba". Observando similar comportamiento, aunque se incrementaron paulatinamente los valores, pero es necesario mejorar las condiciones para corregir ciertos atributos del suelo y cultivo del agro ecosistema. En este caso la intervención para corregir los atributos de salud del cultivo (diversidad genética y diversidad vegetal), los atributos mencionados son los que presentaron los promedios por debajo del umbral de la sostenibilidad, y el ensayo que presenta una mejor sostenibilidad con los promedios mayores es el riego por micro aspersión bajo sombra.

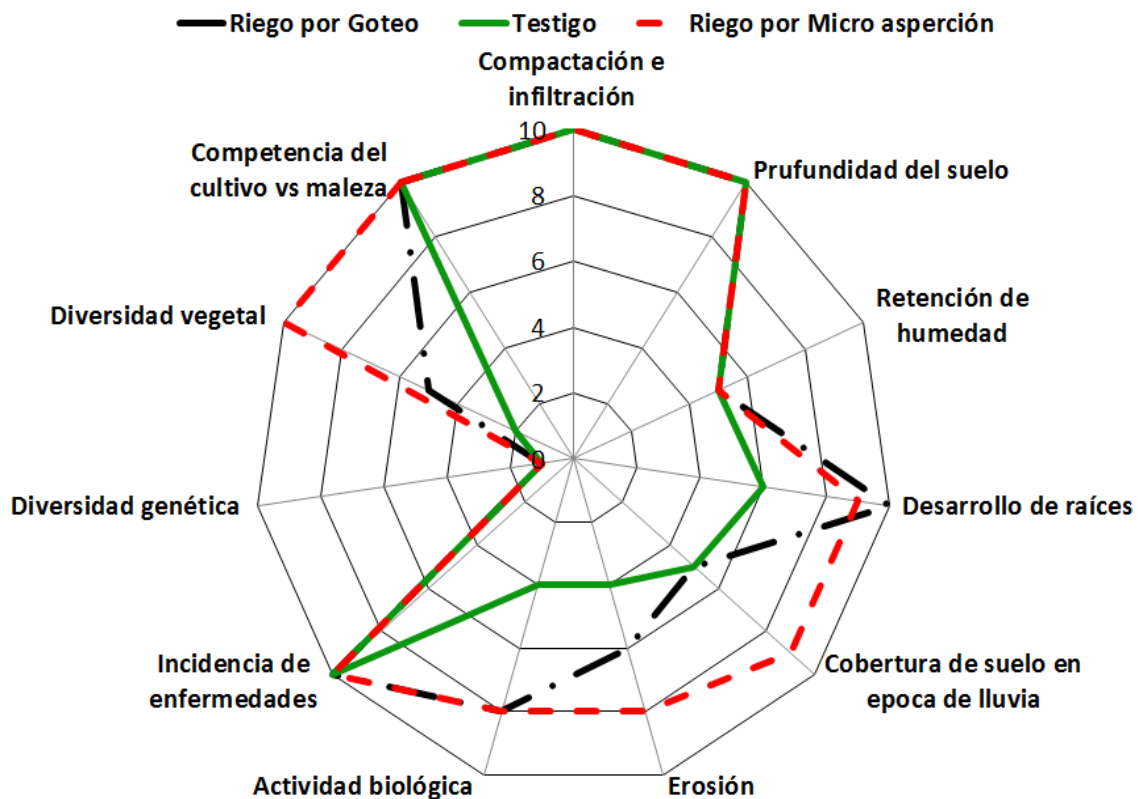


Figura 17. Amiba de Comparación de indicadores de calidad de suelo y salud del cultivo de café bajo riego por goteo a pleno sol y micro aspersión bajo sombra, finca San Dionicio, San Marcos, Carazo, octubre, 2013.

Café bajo sombra con riego por micro aspersión

En una plantación de café se trata de aplicar un buen sistema de manejo agronómico para obtener buenas producciones. El problema se presenta cuando la planta se agota y se vuelve improductiva; en consecuencia, el manejo de tejido (poda) se constituye en la principal labor que da al café una armazón robusta y equilibrada que mejora la producción. Para efectuar una poda correcta, tenemos que tomar en cuenta que el café tiene dos formas de crecimiento, uno vertical u ortotrópico que da origen al tallo o tronco y otro horizontal o plagiotrópico, es decir, hacia los lados del tronco, desde el cual se forman las ramas primarias o bandolas y a su vez originan ramas secundarias y luego terciarias (AMUSCLAM, 2013).

La especie de sombra establecida en el ensayo con mayor incidencia fue Cedro real (*Cedrela odorata* L.) y madero negro (*Gliricidia sepium*), fueron las dos especies que predominaron. En la Figura 19, se observan las proyecciones de las copas de los árboles en el ensayo, como se puede apreciar el manejo de sombra no se le está dando un buen manejo al sistema, en primer lugar porque el Cedro real es un árbol que desprende sus hojas en época de (Febrero a Mayo) y esto perjudica al café, debido que este necesita el mayor porcentaje de sombra en los meses que se produce una mayor radiación solar, y por otro lado la distribución de los arboles parece no ser la correcta.

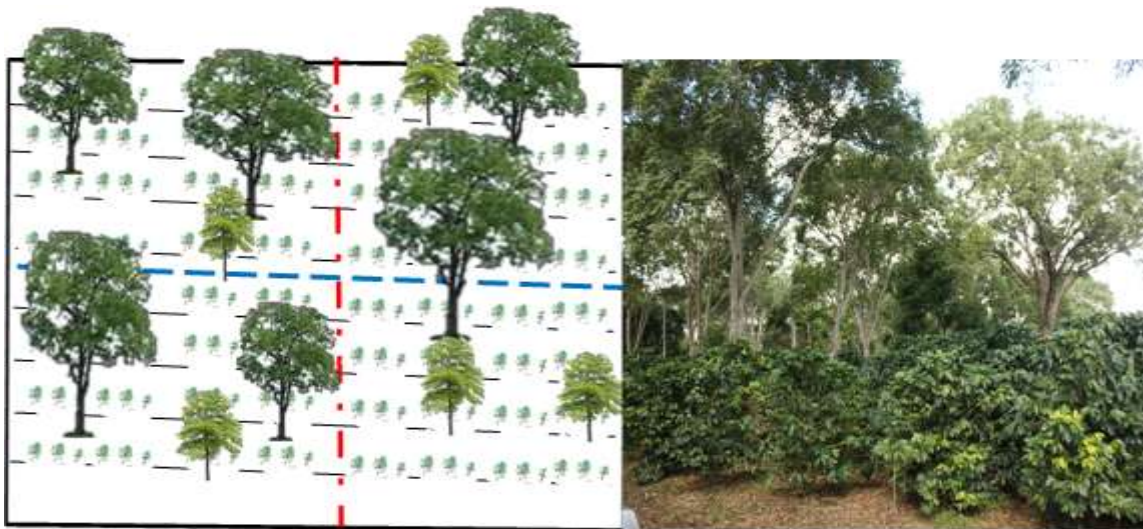


Figura 18. Distribución de la sombra en el ensayo riego por micro aspersion, finca San Dionisio, San Marcos, Carazo, Nicaragua, 2013.

Los ecosistemas agroforestales a base de café adquieren con el tiempo, las características de un ecosistema natural, como son la resistencia a perturbaciones, estabilidad, balance, productividad, incremento en el número de hábitats y de enemigos naturales, Gliessman (2002). De esta forma, los mecanismos de regulación de las poblaciones y de la biodiversidad del sistema en conjunto, ofrecen mayor resistencia a los desequilibrios poblacionales, comúnmente denominados plagas.

Análisis económico

5.6. 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 (1988), 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).

Haciendo la aplicación de la presente metodología de análisis propuesta por CIMMYT (1988), Cuadro 11 muestra los elementos que comprenden el análisis de presupuesto parcial para cada tratamiento, Considerando que la finca San Dionisio, Departamento de Carazo, Nicaragua, 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.

Cuadro 9. Análisis de presupuesto parcial para los tratamientos evaluados, finca San Dionisio, Carazo, Nicaragua, 2013.

Concepto	Tratamientos					
	Testigo	10 mm	20 mm	30 mm	Riego encima del café (2 m)	Riego en la superficie (0.25 m)
Rendimiento medio (kg Oro.ha⁻¹)	1192.32	1051.72	1428.73	1285.02	1 287.75	1 373.23
Rendimiento ajustado (kg Oro.ha⁻¹)	1132.70	999.13	1357.30	1220.77	1 223.36	1 304.57
Precio de venta (\$.kg⁻¹)	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89
Beneficio bruto en campo (\$.ha⁻¹)	2143.08	1890.36	2568	2309.7	2314.6	2468.24
	Costos Variables					
Costo de sistema de riego (\$)	0.00	898.24	898.24	898.24	8694.15	6029.38
Costo de mano de obra para establecerlo (\$)	0.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
Costo de bombeo (\$.ha⁻¹)	0.00	8.49	16.99	25.49	25.49	25.49
Total de los costos que varían (\$.ha⁻¹)	0.00	1026.73	1035.23	1043.73	8839.64	6174.87
Beneficio Neto (\$.ha⁻¹)	2 143.08	8 63.62	1 532.77	1 265.97	1 375.45	1 634.77

El precio de venta que se utilizó fue el que la finca acordó con el comprador en el año 2013, en este caso se 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 en el primer año no se realiza una inversión como en los otros tratamientos. De los tratamientos con mejores beneficios fue en los tratamientos por micro aspersión seguida por las láminas de riego por goteo de 20 y 30 mm y con los beneficios más bajos el tratamiento de 10 mm.

5.7. Relación beneficio costo

En el Cuadro 12, 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 a los otros tratamientos se les suma los costos del establecimiento del sistema de riego y los costos de bombeo.

Cuadro 10. Análisis de utilidades y relación beneficio costo, finca San Dionisio, Carazo, Nicaragua, 2013.

Lámina	Producción (kg oro ha ⁻¹)	Precio (\$ kg oro ⁻¹)	Ingresos (\$)	Costo de producción	Utilidades (\$)	R B/C
Testigo	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
Riego encima del café (2 m)	1 223.36	1.892	2 314.60	8 831.15	-7 651.42	0.12
Riego en la superficie (0.25 m)	1 304.57	1.892	2 468.24	6 029.38	-4 833.01	0.25

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 3) y ayudaron a obtener buenos rendimientos. El tratamiento que no obtuvo

utilidades y una relación beneficio costo menor de 1 fueron los tratamientos con riego por micro aspersión y en riego por goteo la lámina de riego 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.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo al estudio realizado en el cultivo de (*Coffea arabica* L.) var. CATRENIC, bajo riego complementario por goteo a pleno sol y micro aspersion bajo sombra se derivan las siguientes conclusiones:

La finca “San Dionisio” presenta característica de suelo con clase textural franco arenoso, con una velocidad de infiltración alta, a la vez presenta una capacidad de campo baja, por lo tanto la retención de humedad del suelo es baja, aunque el suelo presenta buen drenaje, no presenta problemas de encharcamiento.

El uso de riego complementario en el cultivo de café favorece el crecimiento vegetativo con riego por goteo en café hasta en un 60.48 %, el riego por micro aspersion encima de la copa del café en un 302.23 % con respecto al testigo y supera al riego por goteo hasta en un 241.75 %.

Los tratamiento que obtuvieron los mayores rendimientos fueron la lámina de 20 mm y riego en la superficie (0.25 m) con un rango de 20 % en relación al testigo y a los demás tratamientos con riego, esto obedece a que estos tratamientos obtuvieron el mayor porcentaje de derrame productivo.

De acuerdo con el manejo agronómico convencional del café en la finca San Dionicio, los datos del diagnóstico realizado muestra resultados positivos en los indicadores calidad del suelo y salud del cultivo, se observa que el café manejado con sombra y riego por micro aspersion supera el umbral agroecológico en relación a riego por goteo a pleno sol.

El análisis económico de los tratamientos evaluados indican que el testigo obtuvo los mayores beneficios netos y la mejor relación beneficio costo, destacando que esto se realizó para un año y los costos de inversión de los sistemas de riego no se reflejan en el testigo.

VII. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Adams, H; Reilly J. 1999.** "A review of impacts to U.S. agricultural resources". Prepared for the Pew Center on Global Climate Change. México. Pp 98.
- Aguilar, A; C. Staver; V. Aguilar y S. Somarriba. 1997.** Manejo selectivo de malezas para la conservación del suelo en café joven: Evaluación de sistemas químico/mecánico y mecanismo sin y con *Arachis pintoii*. Memorias XVIII Simposio latinoamericano de caficultura. San José, Costa Rica. P 85-92.
- Aguilar, V. 2001.** Selective weed and ground cover management in a coffee plantation with shade trees in Nicaragua. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria 269, PhD. Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala Sweden.
- Altieri, M. 1994.** Biodiversity and pest management in agroecosystems. Hayworth Press, New York. 185 pp.
- _____, **M. 1995.** Agroecology: the science of sustainable agriculture. Westview Process, Boulder.
- Altieri, M; Nicholls, C. 2002.** Un método agroecológico rápido para la evaluación de la Sostenibilidad de cafetales. Consultado 2 jun. 2013. Disponible en: <http://www.google.com.ni/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCEQFjAB&url=http%3A%2F%2Forton.catie.ac.cr%2Frepdoc%2FA2039E%2FA2039E.PDF&ei=q14sVK7iJ6bGsQSqtoHQCw&usg=AFQjCNHhCwfuPqr9N7nduG94Kr-azp3b8w&bvm=bv.76477589,d.eXY>
- Alvarado, M; Rojas, G. 1998.** El Cultivo y Beneficiado de Café. Segunda Edición. San José, Costa Rica. Editorial Universidad. 160 p.
- Alvin, P. 1977.** Factors affecting flowering of coffee. Journal of coffee Research 7(1):15-25.
- AMUSCLAM (Asociación de Municipios de la Sub Cuenca III de la Cuenca Sur del Lago de Managua). 2013.** Estudio de viabilidad de la diversificación productiva en las áreas de Café con Sombra de la Subcuenca III. Managua. NI. Pp 101.

- ANACAFE (Asociación Nacional del Café). 2010.** manual de implementación del módulo clima. Guatemala. Pp 31.
- ANACAFE, 2011.** Los subproductos del café. (En Línea). Consultado 18 Jul 2014. Disponible en: www.anacafe.org/glifos/index.php/beneficiohumedo_subproductos
- 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.
- Bonomo, R.; Oliveira, L; Silveira N. 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.
- Blair, M; Bohlen, J; Freckman, W. 1996.** Soil invertebrates as indicators of soil quality.
In: Methods for assessing soil quality. Madison, WI. USA. Soil Science Society of America. p.273-291 (Special publication N° 49).
- Briceño, J. 1992.** Desarrollo del cafeto. Crecimiento vegetativo y reproductivo de tres cultivares. Turrialba, Cr. 6p.
- 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.
- Camargo, B. 2010.** The impact of climatic variability and climate change on *Arabic Coffee* crop in Brazil. *Bragantia* 69: 239-247.

- 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.
- Calero, M. 2012.** La cafcultura Caraceña. La prensa. Managua, NI. Agost.
- Cañizales, P. A., E. Alanís, R. Aranda, J. M. Mata, J. Jiménez, G. Alanís, J. I. Uvalle y M. G. Ruiz. 2008.** Caracterización estructural del matorral submontano de la Sierra Madre Oriental, Nuevo León. Rev. Chapingo. Ser. cienc. for. amb. 15: 115-120.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 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.
- CIMMYT (Centro Internacional De Mejoramiento De Maíz Y Trigo). 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.
- Cortez, G; Tercero, J. 2014.** 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.Universidad Nacional Agraria, Managua, NI, Pp 67.
- De Melo, E; Hagggar, J. 2005.** ¿Cómo analizo y manejo los árboles en mi cafetal? Guía para evaluación con productores (as). Versión preliminar Abril 2005. Turrialba, CR. CATIE – CEDECO. 43 p.

Doran, J. 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Spec. Pub. 35. Soil Science Society of America, Madison, WI. (608-273-8080).

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2003. Biological management of soil ecosystems for sustainable agricultura. Report. International Technical Workshop organized by EMBRAPA-Soybean and Food and FAO. Londrina, BR. 24-27 June 2002. World Soil Resources Reports 101. Rome, IT. 102 p.

_____. **(Food and Agriculture Organization of the United Nations).2008a.** Cambio climático y seguridad alimentaria: un documento marco (también disponible en:<http://www.fao.org/docrep/010/i0145s/i0145s00.htm>).

_____. **(Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2009.** Presentación al CMNUCC AWG LCA, Enabling agriculture to contribute to climate change. Consultado 21 septiembre 2012. Disponible en:<http://unfccc.int/resource/docs/2008/smsn/igo/036.pdf>).

Fassbender, W. 1993. Modelos Edafológicos de Sistemas Agroforestales. CATIE/GTZ. Serie Materiales de Enseñanza no. 29. 2da. Edic. Turrialba, Costa Rica. 530 p.

Fernandez,C; Muchler, R. 1999. Aspectos de la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de café en América Central. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José Costa Rica, CIRAD-IICA-PROMICAFE. P 60-70.

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>

Gomez, A; Sweete, K; Syers J; Coughlan. 1996. Measuring sustainability of agricultural systems at the farm level. In: *Methods for assessing soil quality*. SSSA Special Pub. 49. Madison, Wisconsin.

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.

Guharay, F. 2000. ¿Cómo manejar las plagas y enfermedades en cafetales con sombra? Agroforestería en las Américas 8(29):33-36.

Guharay, F. 2001. Manejo integrado de plagas en el cultivo de café. 1era Edición. Ediciones CATIE. Managua. 272 p.

Gliessman, R. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en la agricultura sostenible. CATIE: Turrialba, Costa Rica.

INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2013. Datos de precipitación, temperatura y humedad relativa. Estación Campos Azules, Masatepe. Año 2012/2013.

Kershner, R.; Montagnini, F. 1998. Leaf litter decomposition, litterfall, and effects of leaf mulches from mixed and monospecific plantations in Costa Rica. *Journal of Sustainable Forestry*, 7(3 – 4): 95 – 118.

Laboratorio de suelos y agua. UNA. 2003. Análisis Físico y Químico de suelo del Centro Experimental de Café del Pacífico (Jardín Botánico), Masatepe. 2 pp.

Laderach, P. 2010. Climate Change Adaptation and Mitigation in the Kenyan Coffee. Final report.

Masera, O; Astier, M & López, S. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS. GIRA- Mundi-prensa, México.

MAGFOR, (Ministerio Agropecuario y Forestal). 2012. Informe final, IV Censo Nacional Agropecuario, NIC, P 50 -70.

MAGFOR, (Ministerio Agropecuario y Forestal). 2013. El café en Nicaragua. Programa Nacional de Fomento a la Producción Sostenible de Café Arábigo. Consultado 28 de marzo 2014. Disponible en:<http://www.google.com.ni/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=OCBsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.magfor.gob.ni%2Fdescargas%2Fpublicaciones%2Fcafecacao%2Fcafenicaragua.pdf&ei=oi0sVMH0GdKqggT2ILABw&usg=AFQjCNHHIXLe3dokTJWGxbhFAC8N9Ad4aQ&bvm=bv.76477589,d.eXY>.

Marrero, E. 2006. Régimen de riego. Managua, Ni. Universidad Nacional Agraria. 183 p.

Mestre M, A; Aspina O., H.F 1994. Manejo de los cafetales para estabilizar la producción en las fincas cafeteras. *Avances Técnicos Cenicafe* No. 201:1-8.

- MERRIAM, L. & KELLER, J.** 1978. *Farm Irrigation System Evaluation: A Guide For Management*, USA, pp. 56.
- Montagnini, F; Jordan, F.; Matta, R.** 1999. Reciclaje y eficiencia en el uso de nutrientes en sistemas agroforestales. In: F. Montagnini (ed) *Management and Conservation of Forests and Biodiversity*. November, 1999. Collection of articles. The International Foundation of Science – CATIE, Turrialba, Costa Rica. 34 p.
- Muschler, R.; Bonnemann .**1997. Shade orsun for ecologically sustainable coffee productions: a simmary of environmental key factor: en III semana científica del centro agronómico tropical de investigación y enseñanza CATIE. Turrialba. Pp 109-112.
- Nuñez, M.** 2000. Manual de técnicas agroecológicas. Primera edición. En Linea. Consultado el: 24 Junio 2014. Disponible en: <http://www.ambiente.gov.ar/infoteca/descargas/nunez01.pdf> .
- Olsen S; Dean L.** 1965. Phosphorus. En Black CA (Ed.) *Methods of soil analysis*. Part 2, Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, WI, EEUU. pp. 1035-1049.
- Oliveira, E; Faria, M.** 2007. Manejo e viabilidade econômica da irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro acaia considerando seis safras. Goias, Br.
- PACHECO, S.** (1995). RIEGO Y DRENAJE. Editorial Pueblo y Educación. p. 224. La Habana – Cuba.
- Palma, M.R** 2001. Manual de Caficultura tercera edición. Instituto Hondureño del Café. Tegucigalpa. M.D.C. Honduras, P p 91-101.
- Pérez, E; D. Geissert K.** 2006. Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*Coffea arabica* L.). Palma Camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). Inerciencia 31:556-562.
- 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.

- Piñero, E; Martínez;K; Selander. 1988.** Genetic diversity and relationships among isolates of *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli*. *Applied and Environmental Microbiology* 54 : 2825-2832.
- Pizarro, F. 1987.**Riego localizado de alta de frecuencia. Mundi-prensa. Madriz. Pp 256-300.
- PROMICAFE (Programa Cooperativo Reguinal para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura). 2011.** Adaptación al cambio climático en la región de PROMECAFE. Londres, Reino Unido. Pp, 13.
- Puerta, G; Quintero, I. 2000.** Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. *Cenicafé* 51(2):136-150.
- Ramírez, J.E 1996.** Estudios de Sistemas de Podas de Café Por Hileras y Por Lotes. *Agronomía Costarricense* 20(2):167-172.
- Rodas, H; Cisneros, P. 2000.** Principios de riego por micro aspersión. San Salvador. SV.pp 10.
- 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.
- Sancho V, H. 1999.** Curvas de absorción de nutrientes: Importancia y uso en los programas de fertilización. *Informes Agronómicos*. no. 36: 11-13.
- Silva, N. 1987.** Riego por goteo del Coffea Arabica. Resultados preliminares, *Rev, 100 Y Ttec, Agri*, 9: Pp 35-45.
- Siles, G. 2001.** Comportamiento fisiológico del café asociado con *Eucalyptus degluta*. *Terminalia ivorensis* y sin sombra. Tesis Mag Sc. Turrialba, CR. CATIE. 88 p.
- Siles G; Vaast, P. 2002.** Comportamiento fisiológico del café asociado con *Eucalyptus degluta*.*Terminalia ivorensis* o sin sombra. *Agroforestería en las Américas* 9 (35-36): 44-49.

- Samson, J. A. 1980.** Tropical fruits. Longman, New York. London. Pp. 250.
- SOARES, R. 2001.** Irrigação, fertirrigação, fisiologia e produção em cafeeiros adultos na região da Zona da Mata de Minas Gerais. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- SUÁREZ de C., F. 1957.** Distribución de las raíces del cafeto en un suelo franco limoso. Boletín Técnico Cenicafé 1(12): 5-28.
- Scaloppi, E. 1986.** Características dos principais sistemas de irrigação. ITEM Irrigação e Tecnologia Moderna, n. 25, p. 22-27.
- Staver, C; A. Aguilar; V. Aguilar y S. Somarriba. 1997.** Selective weeding ground cover and soil conservation in coffee in Nicaragua. ILELA Newsletter. Vol 11. No 3. 22 pp.
- Stern, N. H. 2006.** The economics of climate change: The Stern Review. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press. Pp .20 a 28.
- Thomaziello,A; Oliveira,G; Toledo Filho.1999.** *A cultura do Café*. Campinas, CATI, 4.a Edição Boletim Técnico 193. 77 p.
- 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 Catación) Managua, Nicaragua Pp 6.
- Vaast P, van Kanten R, Siles P, Dzib B, Franck N, Harmand JM, Ge´nard M .2005a.** Shade: a key factor for coffee sustainability and quality. Proceedings of the 20th International Congress on Coffee Research, Bangalore, India. ASIC, Paris, France, pp 887–896.
- Zuluanga, J. 1990.** Los factores que determinan la calidad del café verde. In 50 años de CENICAFE. 1938-1988. Conferencias Comemorative. Chinchina, Caldas, Colombia.

VIII. ANEXO

ANEXO 1, **Figura 1a**. Disposición de los tratamientos de riego por goteo en el campo, finca San Dionisio San Marcos, Nicaragua, 2013.



ANEXO 2, **Figura 2a**. Disposición de los tratamientos de riego por micro aspersión en el campo, finca San Dionisio San Marcos, Nicaragua, 2013



ANEXO 3, Cuadro 1 b. Indicadores agroecológicos evaluados en el cultivo de café.
Finca San Dionisio, 2013.

Criterios de diagnóstico	Indicador de evaluación	Descripción	Herramienta de mediación
Calidad del suelo	Caracterización del perfil de suelo	Orden vertical y horizontal hasta la roca madre	Calicata, tabla mounsell y guía de descripción de suelo FAO, 2009.
	Profundidad del suelo	Profundidad hasta la roca madre	Calicata, escala de evaluación de indicadores de sostenibilidad y medición directa
	Infiltración del suelo	Cantidad y velocidad del agua que penetra en el suelo	Doble cilindros y escala de evaluación de indicadores de sostenibilidad.
	Retención de humedad	% de humedad en verano y durante el riego	Sensor de humedades y escala de evaluación de indicadores de sostenibilidad
	Cobertura del suelo	% de cobertura por hojarasca	Marco metálico de 1 m ² , % de cobertura del suelo de hojarasca
	Erosión	Evidencia de procesos erosivos de origen laminar	Escala de evaluación de indicadores de sostenibilidad y medición directa
	Actividad biológica	Cantidad de lombrices, inertos, arañas y insectiles	En un área de 0.5 x 0.5 m y escala de evaluación de indicadores de sostenibilidad.
Estado fitosanitario del café	Incidencia de roya	% de hojas afectadas por bandola y planta	Ficha de recolección de datos y escala de evaluación de indicadores de sostenibilidad.
	Incidencia de minador	% de hojas afectadas por bandola y planta	Ficha de recolección de datos y escala de evaluación de indicadores de sostenibilidad.
	Incidencia de antracnosis	% de hojas afectadas por bandola y planta	Ficha de recolección de datos y escala de evaluación de indicadores de sostenibilidad.
	Incidencia de broca en los frutos	% de frutos afectadas por bandola y planta	Ficha de recolección de datos y escala de evaluación de indicadores de sostenibilidad.
	Incidencia de chasparía	% de frutos afectadas por bandola y planta	Ficha de recolección de datos y escala de evaluación de indicadores de sostenibilidad.
Diversidad de especies	Diversidad genética	Variedades de café en el ensayo	Ficha de recolección de datos y escala de evaluación de indicadores de sostenibilidad.
	Diversidad de maleza	Especies de malezas encontradas	Ficha de recolección de datos y escala de evaluación de indicadores de sostenibilidad.
	Diversidad vegetal	Especies de árboles encontrados en el ensayo	Ficha de recolección de datos y escala de evaluación de indicadores de sostenibilidad.

ANEXO 4, Figura 3a. Monitoreo de niveles de humedades en el suelo de tratamientos evaluados en el cultivo de café, finca San Dionisio, Carazo. 2013.



ANEXO 5, Cuadro 1 b. Escala para determinar los Indicadores de calidad de suelo y salud de cultivos en cafetales, con sus características y valores correspondientes.

1. Infiltración

Valor establecido	Característica	Valor en el campo
1	Compacto, se anega	
5	presencia de capa compacta delgada, agua infiltra lentamente	
10	suelo no compacto, agua infiltra	

2. Profundidad del suelo

Valor establecido	Característica	Valor en el campo
1	Subsuelo casi expuesto	
5	Suelo superficial delgado (menos de 10 cm.)	
10	Suelo superficial más profundo (mas de 10)	

3. Retención de humedad

Valor establecido	Característica	Valor en el campo
1	suelo se seca rápido	
5	suelo permanece seco en época seca	
10	suelo mantiene algo de humedad en época seca	

4. Desarrollo de raíces

Valor establecido	Característica	Valor en el campo
1	raíces poco desarrolladas, enfermas y	
5	raíces de crecimiento algo limitado, se ven algunas raíces finas	
10	raíces con buen crecimiento, saludables y profundas, con abundante presencia de raíces finas	

5. Cobertura de suelo

Valor establecido	Característica	Valor en el campo
1	suelo desnudo	
5	menos de 50% del suelo cubierto por residuos, hojarasca o cubierta viva	
10	más del 50% del suelo con cobertura viva o muerta	

6. Erosión

Valor establecido	Característica	Valor en el campo
1	erosión severa, se nota arrastre de suelo y presencia de cárcavas y canalillos	
5	erosión evidente pero baja	
10	no hay mayores signos de erosión	

7. Actividad biológica

Valor establecido	Característica	Valor en el campo
1	Sin signos de actividad biológica, no se ven lombrices o invertebrados (insectos, arañas, centípidos, etc.)	
5	se ven algunas lombrices y artrópodos	
10	mucha actividad biológica, abundantes lombrices y artrópodos	

Promedio Calidad de suelo	
----------------------------------	--

Salud del cultivo (VARIABLE)

1. Incidencia de enfermedades

Valor establecido	Característica	Valor en el campo
1	Susceptible a enfermedades, más del 50% de plantas con síntomas	
5	entre 20-45% de plantas con síntomas de leves a severos	
10	resistentes, menos del 20% de plantas con síntomas leves	

5. Competencia por malezas

Valor establecido	Característica	Valor en el campo
1	cultivos estresados dominados por presencia media de malezas, cultivo sufre algo de competencia	
5		
10	cultivo vigoroso, se sobrepone a malezas, o malezas chapeadas no causan problemas	

7. Diversidad genética

Valor establecido	Característica	Valor en el campo
1	Pobre, domina una sola variedad de café	
5	Media, dos variedades	
10	Alta, mas de dos variedades	

8. Diversidad vegetal

Valor establecido	Característica	Valor en el campo
1	Monocultivo sin sombra	
5	Con solo una especie de sombra	
10	con más de 2 especies de sombra, e incluso otros cultivos o malezas	

ANEXO 6, Figura 4a. Descripción y caracterización del suelo en el cultivo de café, finca San Dionisio, San Marcos, Carazo 2013.



ANEXO 7, Figura 2a. Determinación de velocidad de infiltración e infiltración acumulada del suelo en el cultivo de café, finca San Dionisio, San Marcos, Carazo 2013.



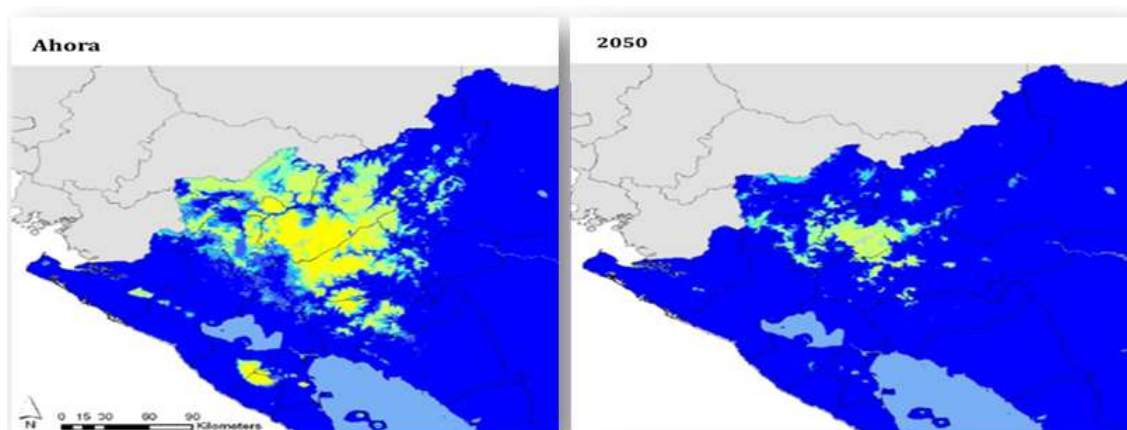
ANEXO 8, Figura 3a. Cobertura del suelo en el cultivo de café, finca San Dionisio, San Marcos, Carazo 2013.



ANEXO 9, Figura 4a. Estado de sombra en época seca y época de lluvia en el cultivo de café, finca San Dionisio, San Marcos, Carazo 2013.



ANEXO 9, Figura 5a. Reducción de áreas de cultivo de cafés provocados por el efecto del cambio climático, Nicaragua, 2013.



ANEXO 10, Cuadro 3 b. 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 11, Cuadro 4 b. 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

ANEXO 12, 1 c. Cálculos de velocidad de infiltración e infiltración acumulada
Ecuación de infiltración $I = Kt^n$ Kostiakov

Aplicando logaritmo a ambos lados

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

Formando dos ecuaciones para formar las constantes

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

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

Multiplicando -1 por el signo menos

$$\begin{array}{r} -34.0754 = -20 \text{ log } K - 6.60745 (12.8878) \\ 52.2128 = 20 \text{ log } K + 37 (37.5035) \\ \hline \end{array}$$

$$18.1374 = 24.6157n$$

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

Sustituyendo n en 1

$$1) \quad 34.0754 = 20 \text{ log } K + (0.7368) (12.8878) \quad 34.0754 = 20 \text{ log } K + 9.4960$$

$$34.0754 - 9.4960 = 20 \text{ log } K \quad 24.5794 = 20 \text{ log } K$$

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

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

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 13, Cuadro 5 b. Cálculo de la velocidad de infiltración usando el método de Kostiakov.

Tiempo acumulado (min) t	Lámina acumulada (mm) l	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 14. 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.”.-

Por ser una técnica de riego de alta frecuencia, la norma de riego se establece para suplir el déficit de evapotranspiración: “ ET_c ” diaria; calculándose la misma por el método del “*evaporímetro Clase A*”:

$$ET_c = K_c \times E_o$$

Donde:

K_c .- *Coficiente de cultivo*, tomándose 0.70 reportado por Cañizales, N. P. et al, 2008, para café, en sistema agro ecológico, bajo sombra; en el estado Guárico – Venezuela.

E_o .- *Evaporación desde el tanque*, asumiendo $\approx 7 \text{ mm} \cdot d^{-1}$, por analogía climática con los datos de “Masatepe”, Masaya.

Por lo que, sustituyendo, tendremos:

$$ET_c = 0.70 \times 7 = 4.9 \text{ mm} \cdot d^{-1}, \text{ se toma} = 5 \text{ mm} \cdot d^{-1}$$

Por otro lado, en caso de cultivos de alta densidad de sombreo, como ocurre en el cultivo agro ecológico del café, NO se corrige el efecto de la localización; por lo que:

$$ET_c = ET_{\text{diseño}} = 5 \text{ mm} \cdot d^{-1}$$

$$\text{Luego: } M_r = \frac{ET_{\text{diseño}}}{E_a \times C_u} = \frac{5}{0.85 \times 0.80} \approx 7.35 \text{ mm} \cdot d^{-1} \text{ Norma de riego: “Mr”.-}$$

$$M_{r,t1} = \frac{Lá \text{ min } a_{\text{diseño}}}{E_a \times C_u} = \frac{10}{0.85 \times 0.92} \approx 12.8 \text{ mm} \cdot d^{-1}$$

$$M_{r,t2} = \frac{Lá \text{ min } a_{\text{diseño}}}{E_a \times C_u} = \frac{20}{0.85 \times 0.92} \approx 25.6 \text{ mm} \cdot d^{-1}$$

$$M_{r,t3} = \frac{Lá \text{ min } a_{\text{diseño}}}{E_a \times C_u} = \frac{30}{0.85 \times 0.92} \approx 38.4 \text{ mm} \cdot d^{-1}$$

Donde:

Ea.- Eficiencia de aplicación, del riego localizado, según: García, M. (2006) señala que en Cuba, para café bajo sombra, oscila entre 0.85 – 0.90.

Cu.- Coefficiente de uniformidad, que, según Pizarro, F. (1987 – 90), al igual que Merriam y Keller, (1978), ambos citados por Quinza Guerrero, et al, (1993),

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

recomiendan el “método del cuarto menor”, o sea: 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 15. 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

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

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

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

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

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

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

$$CDT = h_s + h_{fs} + h_{faccsuc} + h_{fd} + h_{facc d} + \frac{1}{2} \text{ top} + P \text{ Sistema}$$

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

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

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



*"Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible"*