



*"Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible"*

**UNIVERSIDAD NACIONAL GRARIA**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**Crecimiento y curvas de acumulación de nutrientes  
en frutos de café (*Coffea arábica* L.) cultivar  
CATRENIC con riego complementario, San  
Marcos, Carazo Nicaragua, 2013**

**Autores:**

**Br. María José Rojas Rojas  
Br. Tatiana del Socorro Avellán Gámez**

**Asesores:**

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

**Managua, Nicaragua  
Mayo, 2015**



“Por un Desarrollo Agrario,  
Integral y Sostenible”

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

## FACULTAD DE AGRONOMÍA

### TRABAJO DE GRADUACIÓN

**Crecimiento y curvas de acumulación de nutrientes en frutos de café (*Coffea arabica* L.) cultivar CATRENIC con riego complementario, San Marcos, Carazo Nicaragua, 2013**

#### **Autores:**

**Br. María José Rojas Rojas**  
**Br. Tatiana del Socorro Avellán Gámez**

#### **Asesores:**

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

**Managua, Nicaragua**  
**Mayo, 2015**



“Por un Desarrollo Agrario,  
Integral y Sostenible”

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

## FACULTAD DE AGRONOMÍA

### TRABAJO DE GRADUACIÓN

**Crecimiento y curvas de acumulación de nutrientes en frutos de café (*Coffea arábica* L.) cultivar CATRENIC con riego complementario, San Marcos, Carazo Nicaragua, 2013**

#### **Autores:**

**Br. María José Rojas Rojas**  
**Br. Tatiana del Socorro Avellán Gámez**

#### **Asesores:**

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

**Managua, Nicaragua**  
**Mayo, 2015**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE ANEXOS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS	3
III MATERIALES Y MÉTODOS	4
3.1 Ubicación y descripción del área en estudio	4
3.2 Diseño metodológico	5
3.3 Variables evaluadas	7
3.4 Análisis de datos	8
3.5 Manejo agronómico	8
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
4.1 Crecimiento en diámetro polar	9
4.2 Crecimiento en diámetro ecuatorial	10
4.3 Correlación entre diámetro polar y diámetro ecuatorial de los frutos	11
4.4 Diámetro polar y diámetro ecuatorial ajustados a un modelo exponencial	12
4.5 Peso fresco del fruto (g)	13
4.6 Peso seco del fruto (g)	13
4.7 Correlación entre peso fresco y peso seco	14
4.8 Peso seco de los frutos de café ajustados al modelo Probit normal.	15
4.9 Concentración de N, P, K, Ca y Mg en los frutos de café	16
4.10 Acumulación de N, P, K, Ca y Mg en los frutos de café	19
V CONCLUSIONES	23
VI RECOMENDACIONES	24
VII LITERATURA CITADA	25
VII ANEXOS	27

## DEDICATORIA

**A:**

Dios y a nuestras madres

*Br. María José Rojas Rojas*

*Br. Tatiana del Socorro Avellán Gámez*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida, salud y entendimiento.

A mi madre Elena Rojas, que siempre me ha brindado su apoyo y sus sabios consejos.

A mis tíos Amalia Rojas y Alberto Lovo que siempre me brindaron su apoyo incondicional durante la trayectoria de mi carrera.

A los asesores Dr. Víctor Aguilar, MSc. Rodolfo Munguía y MSc. Henry Duarte que pusieron todo su desempeño y dedicación para culminar este trabajo investigativo.

Al proyecto Sensibilidad y Adaptación del Café al Cambio Climático en Centroamérica (CAFADAPT) con fondos del Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO) quien financió la investigación y a la Universidad Nacional Agraria que hicieron posible la ejecución y finalización de este trabajo.

A la Empresa Inversiones Generales S, A. (INGESA) por permitirnos el establecimiento y ejecución del ensayo en su finca.

*Br. María José Rojas Rojas*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios quien me dio la vida, salud y sabiduría todos estos años.

A mi madre Martha Gámez, quién a lo largo de mi vida me ha dado su amor y apoyo incondicionalmente.

A mi padre Francisco Avellán, (q.d.p) quien me instruyó mientras tuvo vida.

A mi familia y amigos.

Al Dr. Luis M. Urbina por su apoyo a lo largo de mi carrera.

A mis asesores Dr. Víctor Aguilar, MSc. Rodolfo Munguía y MSc. Henry Duarte por su apoyo y confianza a lo largo de la investigación.

Al proyecto Sensibilidad y Adaptación del Café al Cambio Climático en Centroamérica (CAFADAPT) con fondos del Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria(FONTAGRO)quien financió la investigación y a la Universidad Nacional Agraria que hicieron posible le ejecución y finalización de este trabajo.

A la Empresa Inversiones Generales S, A. (INGESA) por permitirnos el establecimiento y ejecución del ensayo en su finca.

A todos los que creyeron en mí.

*Br.Tatiana del Socorro Avellán Gámez*

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>		<b>PÁGINA</b>
1	Análisis físico-químico de suelo del área de estudio	5
2	Descripción de los tratamientos	5



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>PÁGINA</b>
1	Mapa de ubicación del municipio San Marcos, Carazo. INETER, 2013.	4
2	Precipitación y temperaturas mínimas, máximas y medias mensuales en la zona de estudio. Fuente (INETER, 2013).	4
3	Diámetro polar durante el crecimiento del fruto por influencia de tres láminas de agua.	9
4	Diámetro ecuatorial durante el crecimiento del fruto de café por influencia de tres láminas de agua.	10
5	Correlación entre el diámetro polar y diámetro ecuatorial del fruto.	11
6	Crecimiento exponencial del diámetro del fruto usando el método de regresión no lineal.	12
7	Peso fresco en frutos de café según tres láminas de agua	13
8	Peso seco en frutos de café según tres láminas de agua	14
9	Correlación entre peso fresco y peso seco en frutos de café.	15
10	Comportamiento del peso seco en frutos de café según modelo Probit normal	16
11	Concentración de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en frutos según láminas de agua	18
12	Acumulación de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en frutos según láminas de agua	21

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO</b>		<b>PÁGINA</b>
1	Plano de campo y distribución de los tratamientos	27
2	Cálculo de las necesidades hídricas	28
3	Imágenes de estructuras vegetales reproductivas y registro de información	30

## RESUMEN

**Rojas Rojas, MJ.; Avellán Gámez., TS. 2015.** Crecimiento y curvas de acumulación de nutrientes en frutos de café (*Coffea arabica* L.) cv. CATRENIC con riego complementario por goteo, San Marcos, Carazo, Nicaragua, 2013.

Para determinar el crecimiento y la acumulación de nutrientes en frutos de café (*Coffea arabica* L.) cv. CATRENIC, se evaluaron tres láminas de riego por goteo: 10 mm, 20 mm y 30 mm más un testigo (0 mm). El ensayo se realizó en un periodo comprendido entre marzo de 2013 a enero de 2014 en la finca San Dionisio, ubicada en San Marcos, Carazo, Nicaragua. El diseño experimental utilizado fue una distribución de bloques completos al azar (BCA). El análisis de varianza no mostró efecto de los tratamientos para el diámetro polar, diámetro ecuatorial y peso seco del fruto al finalizar el ensayo. La correlación entre los diámetros evaluados fue 98.87 % y la correlación entre el peso fresco y peso seco de los frutos fue 93.15 %. En cuanto a la acumulación de nutrientes el orden de los macro elementos fue:  $K > Mg > P > Ca > N$  y respecto a la concentración el orden fue:  $Mg > K > P > Ca > N$ . Los modelos utilizados para el ajuste de curvas fueron el no Lineal Exponencial para el crecimiento del fruto y para el peso seco el modelo probit normal.

**Palabras clave:** café, crecimiento, peso fresco, peso seco, nutrientes

## ABSTRACT

**Rojas Rojas, MJ.; Avellán Gámez., TS. 2015.** Coffee berries growth and nutrient accumulation curves coffee berries CATRENIC variety under irrigation system, San Marcos, Carazo, Nicaragua, 2013.

To determine the growth and the accumulation of nutrients in fruits of coffee (*Coffea arabica* L.) variety. CATRENIC was evaluated three sheets of drip irrigation: 10 mm, 20 mm and 30 mm and a test treatment (0 mm). The trial was conducted in a period from March 2013 to January of 2014 in the finca San Dionisio, located in San Marcos, Carazo, Nicaragua. The experiment was established in a randomized block design (BCA) .The analysis of variance showed no effect of treatments for the polar diameter, equatorial diameter and dry weight of the fruit. The correlation between the diameters evaluated was a 98.87 % and the correlation between the fresh weight and dry weight of the fruits was 93.15 %. In regard to the accumulation of nutrients the order of the macro elements was:  $K > Mg > P > Ca > N$  and to the concentration was the order  $Mg > K > P > Ca > N$ . The models used for adjusting curves were the non-linear Exponential for the growth of the fruit and the dry weight normal the probit model.

**Keywords:** coffee, growth, fresh weight and dry weight, nutrients

## I. INTRODUCCIÓN

En términos de ingresos económicos el café (*Coffea arábica* L.) es uno de los productos agrícolas de gran importancia en Nicaragua. Al 31 de diciembre de 2012 se contabilizaban más de 180 000 manzanas sembradas (126 468 ha<sup>-1</sup>) con una producción de 2 100 000 quintales, para un rendimiento de 11.66 quintales por manzana (754.34 kg ha<sup>-1</sup>) registrándose un ingreso superior a 500 millones de dólares americanos (FUNICA, 2013).

En zonas de producción de café que no tienen una estación seca definida, las yemas florales pueden emerger en cualquier momento, resultando en floraciones sucesivas con las consecuentes desventajas de manejo, donde el proceso de floración y fructificación no es completado (Rojas, 1987). Según Chavarría y Calderón (2014), Carazo tiene una zona seca definida de seis meses que comprende el periodo de noviembre a abril, sin embargo en el año 2012, se observaron siete floraciones en la estación seca, producto de lluvias erráticas durante los meses de marzo, abril y mayo.

Dado que las plantas necesitan de un buen abastecimiento de agua y las precipitaciones se producen de manera irregular, en algunos casos, es importante suministrar a las plantas agua complementaria a través de sistemas de riego para un buen desarrollo y aumentar la producción. Por tanto, el riego es el aporte artificial de agua a las plantas con el fin de suministrar la humedad necesaria para el desarrollo y aumento de la producción, de forma complementaria al aporte de las precipitaciones (Martínez, 2001).

Las curvas de absorción de nutrientes permiten conocer la dinámica de absorción de los diferentes nutrientes durante el ciclo del cultivo y su relación con las diferentes etapas fenológicas, esta información es valiosa para diseñar estrategias de manejo de la nutrición del cultivo (Bertsch, 2005). Según Bertsch y Ramírez (1997) estas curvas constituyen una herramienta para estimar de manera directa las necesidades nutricionales de un cultivo, ya que definen las cantidades de nutrimentos necesarias y los momentos más adecuados de aplicación. Esta herramienta justifica cuantitativamente la validez de un programa de fertilización.

Para poder modelar las curvas de acumulación de nutrientes hay que generar en forma previa la curva de crecimiento del cultivo, en términos de peso seco y/o peso fresco. Esta información pese a ser tan básica, no existe para muchos cultivos. Lo importante de esta curva es que puede establecer las principales etapas fenológicas del cultivo y la participación de cada tejido en ellas, Ramírez *et al.*,(2002); citado por Bertsch (2005).

En Nicaragua en la zona del pacífico sur, en los meses de marzo y abril de algunos años se han producido lluvias erráticas que estimulan la floración temprana, por lo que se hace necesario aplicar cierta cantidad de agua para asegurar la fructificación. Con este estudio se pretendió conocer la acumulación de nutrientes y el crecimiento en los frutos de café aplicando tres láminas de agua, mediante el diseño de curvas de crecimiento y de acumulación de nutrientes.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. General**

Inferir sobre la acumulación de macro nutrientes y el crecimiento de los frutos de café en el cultivar. CATRENIC por influencia de láminas de agua con riego por goteo.

### **2.2. Específicos**

Determinar el diámetro polar y diámetro ecuatorial en frutos de café por efecto de tres láminas de agua.

Determinar la acumulación de peso fresco y peso seco en frutos de café por efecto de tres láminas de agua.

Determinar la concentración y acumulación de nutrientes en frutos de café por efecto de riego complementario.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación y descripción del área en estudio

El estudio se realizó en la finca San Dionisio ubicada en el km 39 ½ de la carretera San Marcos-Las Esquinas, departamento de Carazo, Nicaragua, en el periodo de marzo de 2013 a enero de 2014. Las coordenadas geográficas corresponden a 11° 53' 80" latitud norte y 86° 14' 05" de longitud oeste, se ubica a una altitud de 525 msnm, con precipitación total anual de 1600 mm y temperatura promedio anual entre 27-37 °C. La humedad relativa promedio es de 83 % (INETER 2013).



Figura 1. Mapa de ubicación del municipio San Marcos, Carazo. INETER, 2013.

En la Figura dos se indican la distribución de las lluvias y se registra un acumulado de las precipitaciones de 1 300 mm

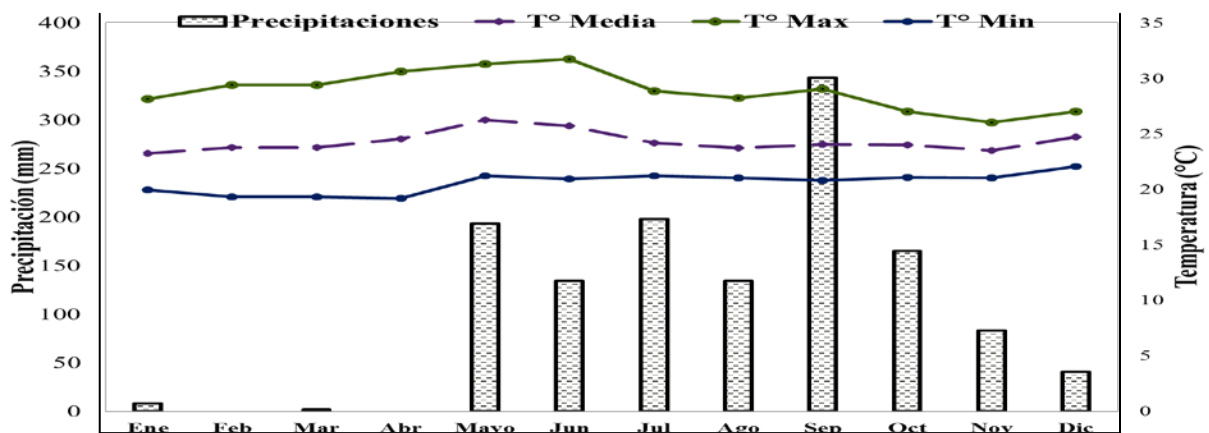


Figura 2. Precipitación y temperaturas mínimas, máximas y medias mensuales en la zona de estudio. Fuente INETER (2013)



Los suelos de la zona pertenecen a la serie San Marcos, clasificados taxonómicamente en el orden de los Andisoles con pH entre 4.8 y 6.3, de textura franco arenoso (Marín,1990). En el análisis físico-químico de suelo realizado en el Laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria, el área del experimento presenta una textura franco arenoso, un pH medianamente ácido, niveles de Materia Orgánica, Nitrógeno, Potasio, Calcio y Magnesio es alto y su contenido de Fósforo pobre (Cuadro 1).

**Cuadro1. Análisis físico-químico de suelo del área de estudio**

Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	pH	MO (%)	N (%)	P (ppm)	K (Meq/100 g)	Ca (Meq/100 g)	Mg (Meq/100 g)
54.13	24.67	21.2	6.11	7.1	0.36	5.43	0.80	31.43	4.22
			M.A	Alto	Alto	Pobre	Alto	Alto	Alto

Fuente: LABSA-UNA (2013) M.A: Medianamente ácido

### 3.2 Diseño metodológico

#### Descripción del ensayo

Se utilizó un arreglo unifactorial en Bloques Completos al Azar (BCA), los tratamientos en estudio fueron T<sub>1</sub>: 10 mm de agua, T<sub>2</sub>: 20 mm de agua, T<sub>3</sub>: 30 mm de agua y Testigo: sin riego (Cuadro 2).La disposición de los tratamientos en el campo se presenta en el Anexo 1.

**Cuadro 2.Descripción de los tratamientos**

Tratamiento	Lámina de agua (mm)	Litros de agua / m <sup>2</sup>
T <sub>1</sub>	10	10
T <sub>2</sub>	20	20
T <sub>3</sub>	30	30
Testigo	Sin riego	0

El cultivo tiene un periodo de plantación de cinco años, sembradas a un marco de plantación rectangular (2 m entre hilera y 0.9 m entre plantas) para una población de 5 550 plantas ha<sup>-1</sup>, a plena exposición solar.

La dimensión total del área experimental fue 1 536 m<sup>2</sup>, en la cual se establecieron cuatro bloques conformados por cuatro parcelas de ocho m de ancho x 12 m de largo (96 m<sup>2</sup>). En las parcelas experimentales se definieron cuatro surcos con 13 plantas cada uno y la parcela útil estaba conformada por 11 plantas por surco.

### **Descripción del sistema de riego**

Se utilizó un sistema de riego por goteo a nivel complementario usando tres láminas de agua p hasta el momento del establecimiento de las lluvias en el mes de mayo. La carga de trabajo de la bomba fue de 30 PSI (libra por pulgada cuadrada), el diámetro de la tubería principal utilizada es de dos pulgadas y el diámetro de la tubería secundaria de una pulgada. Las bandas o cintas de 16 mm de diámetro fueron instaladas a cinco cm de profundidad y la distancia entre los emisores fue de 40 cm.

En la zona del pacifico sur se presentan lluvias erráticas en época seca, que estimulan la floraciones tempranas, al no existir la humedad suficiente en el suelo estas flores no producen frutos por lo tanto es necesario aplicar cierta cantidad de agua que puede suplirse a través del sistema de riego por goteo.

### **Descripción de la variedad**

En los años 1971-73 se introdujo a Nicaragua proveniente del CATIE Turrialba, Costa Rica y de la estación de introducción de plantas de Glendale, Maryland, Estados Unidos, 19 cultivares con diferentes factores de tolerancia a roya del café, entre los que se encontraba el primer Catimor, dando inicio a las actividades de fitomejoramiento (Baylon, 2015). Moraga (2013) menciona que en 1985 es visto como sobresaliente que podía conformar una nueva variedad, por lo que es llamado Caturra Revolución Nicaragüense (CATRENIC).

Su origen genético es el Catimor HW 26/13 resultando del cruce de (19/1 Caturra rojo x 832/1 híbrido de timor13). Se caracteriza por su uniformidad en el porte bajo, hojas de color verde oscuro, brotes bronceados y verdes, frutos rojos, ramas largas con entrenudos cortos y de palmillamiento terciario, de mayor capacidad de producción comparado con Catuai y Caturra, resistente a la roya y al nématodo Meloydogine. Necesita de buen manejo agronómico

para expresar plenamente su potencial, presenta alta precocidad, es recomendado para zonas bajas (menor de 800 msnm) y se desarrolla bien a alturas de 1 000 msnm (Bolaños, 2005)

### **Metodología del muestreo**

Durante la etapa de floración se marcaron ocho bandolas productivas del tercio medio de la planta; la cinta se colocó en la base de la bandola. Al final de cada mes se cosecharon los frutos de cada bandola y en 10 de ellos se midió el diámetro polar, diámetro ecuatorial, peso de biomasa fresca y biomasa seca de los frutos; posteriormente los frutos se molieron y se sometieron a análisis de laboratorio para determinar el contenido de: N, P, K, Ca y Mg mediante el método de digestión húmeda.

### **3.3 Variables evaluadas**

#### **Diámetro polar del fruto (mm)**

Se registró mensualmente desde mayo de 2013 a enero de 2014. Según tratamiento y repetición de forma transversal al fruto haciendo uso de la herramienta Pie de Rey de reloj (vernier).

#### **Diámetro ecuatorial del fruto (mm)**

Se registró mensualmente el diámetro ecuatorial desde mayo de 2013 hasta enero de 2014. Según tratamiento y repetición de forma longitudinal al fruto haciendo uso de la herramienta Pie de Rey de reloj (vernier).

#### **Peso fresco de frutos (g)**

Para obtener el peso fresco mensualmente desde mayo de 2013 hasta enero de 2014 los frutos de cada bandola se cosecharon, se contabilizaron y se pesaron en campo en una balanza digital *Scout<sup>TM</sup> Pro* con precisión 0.1g.

#### **Peso seco de frutos (g)**

Para obtener el peso seco de los frutos cosechados y contabilizados en campo, fueron trasladados al laboratorio de fisiología vegetal de la Universidad Nacional Agraria para ser sometidos a temperaturas de 70 °C durante 72 horas y posteriormente fueron pesados en una balanza digital *Scout<sup>TM</sup> Pro* con precisión 0.1g.

### **Concentración de nutrientes en frutos (%)**

Para determinar la concentración de N, P, K, Ca y Mg en los frutos cosechados mensualmente, las muestras secas se prepararon en un molino FOSS *Cyclotec<sup>TM</sup> 1093*, posteriormente fueron ingresadas al laboratorio de Suelos y Agua (LABSA) de la UNA en Managua y se determinó el porcentaje de nutrientes en los frutos mediante el método de la Digestión húmeda propuesto por Onelio Fundora (1983) para muestras de tejido vegetal y frutas.

### **Acumulación de nutrientes en frutos**

En cuanto a la acumulación de nutrientes esta variable resulta de multiplicar la concentración del nutriente en porcentaje por el peso seco del fruto en gramos.

### **3.4 Análisis de datos**

Se elaboró una base de datos para cada una de las variables utilizando el programa Excel 10. A los datos de diámetro polar y diámetro ecuatorial se les realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA) y prueba de medias de rangos múltiples de TUKEY al 5% de margen de error desde los 30 días después de la floración (ddf) hasta los 240 ddf.

A los datos de peso fresco y seco registrados a los 240 ddf, igualmente se les realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA) y separación de medias por TUKEY al 5 %.

Los ajustes de las curvas de crecimiento y acumulación de peso seco se analizaron a través de correlaciones y regresiones no lineales, específicamente a través de regresión no lineal simple exponencial (Modelo propuesto por Marquardt) y Probit normal, utilizando el sistema de análisis estadístico (SAS 9.1). En las variables concentración y acumulación de nutrientes se realizó la curva correspondiente a cada nutriente.

### **3.5 Manejo agronómico**

El manejo en las parcelas experimentales fue según el plan definido por la finca para el ciclo agrícola 2013 en el cual se programaron labores de manejo de arvenses, plagas, enfermedades y fertilización.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Crecimiento en diámetro polar

La curva de crecimiento según el diámetro polar de los frutos presenta un rápido incremento de los 30 hasta los 120 días después de la floración (Figura 3). A los 30 días después de la floración (ddf), se indican diferencias significativas ( $p= 0.0018$ ) entre las láminas de agua (mm), sin embargo, a partir de los 60 ddf estadísticamente son iguales. A partir de los 120 días de forma general alcanzan su máximo tamaño (13.34 mm), posteriormente a los 180 días el diámetro es constante.

A los 210 días después de la floración se presenta otro incremento en el tamaño lo que se asocia con el incremento en materia seca, coincidiendo con el estudio realizado por Segura (1992) en el que en un cuarto período se produce la maduración y hay otro fuerte incremento en tamaño por cinco semanas que se asocia con un fuerte incremento de materia seca (mayor a 30%), que se acumula a partir de los 210 días después del punto máximo de floración.

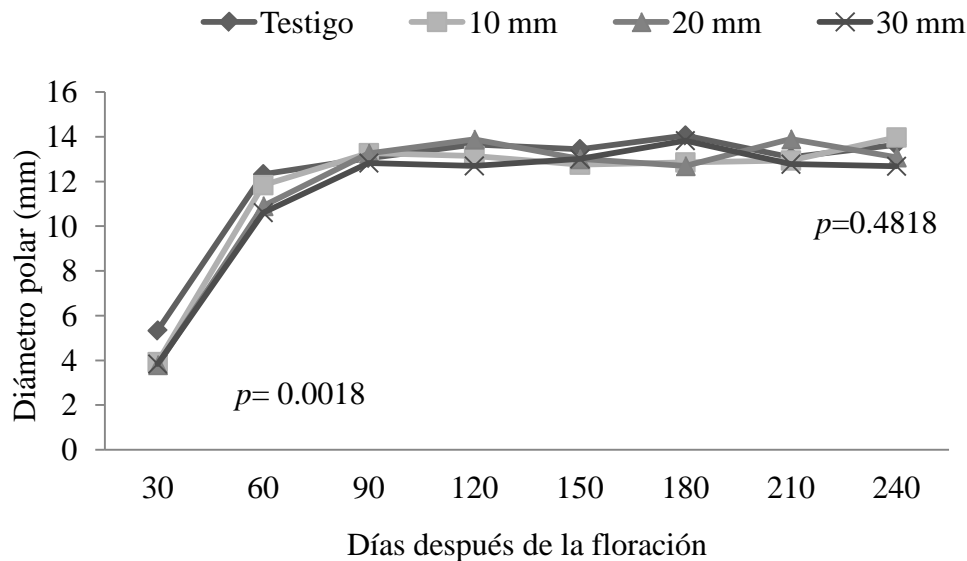


Figura. 3. Diámetro polar durante el crecimiento del fruto por influencia de tres láminas de agua.

#### 4.2 Crecimiento en diámetro ecuatorial

El diámetro ecuatorial (Figura 4), de igual manera presentó un crecimiento rápido y no mostró diferencias significativa ( $p= 0.5333$ ) entre las láminas de agua aplicadas desde los 30 días después de la floración hasta la cosecha. Moraga (2013) señala que la variedad CATRENIC es tolerante a la sequía, por tal razón, esto justifica que al no presentarse un periodo prolongado de sequía el crecimiento de los frutos no mostro afectaciones en su crecimiento.

Una buena distribución estacional de la precipitación y un periodo corto de sequía favorecen el crecimiento según Maestri y Santos (1977), citado por Montaldo (1982), el periodo seco parece favorecer el crecimiento de las raíces, la iniciación floral y la madurez de los frutos

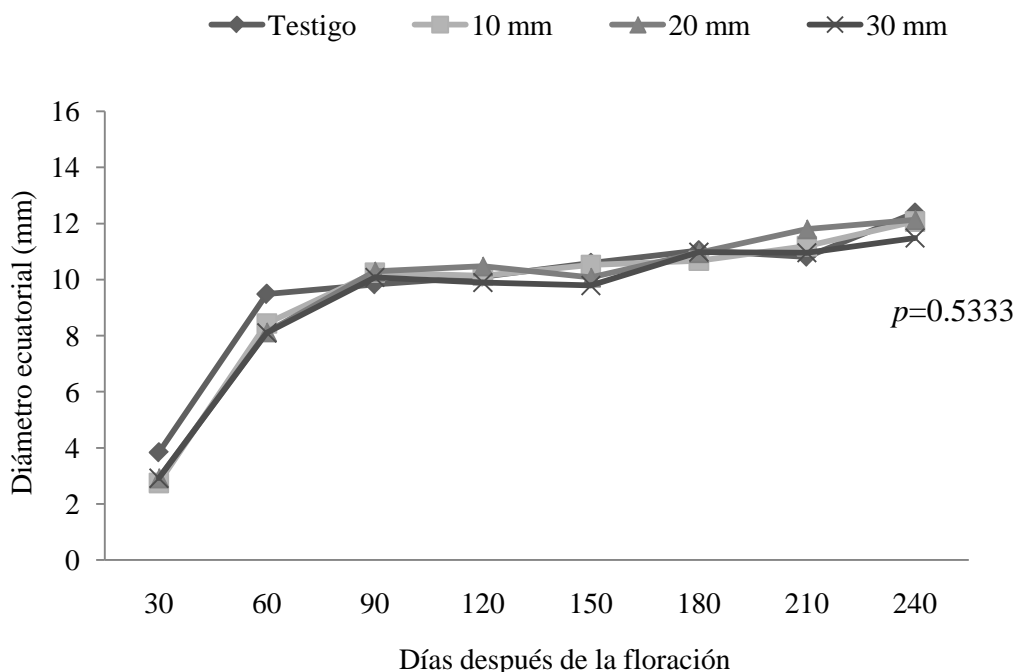


Figura 4. Diámetro ecuatorial durante el crecimiento del fruto por influencia de tres láminas de agua.

Las curvas de crecimiento del fruto de café obtenidas son similares a la determinada por Ramírez *et al.*, (2002), quienes indican que esta curva presenta una forma sigmoidea doble, donde la primera etapa corresponde a un incremento en los primeros 30 días después de la floración, seguido de un crecimiento rápido hasta que el fruto verde alcanza su tamaño máximo, posteriormente en el tercer período casi no hay crecimiento y corresponde al endurecimiento del endocarpio y la división de los tejidos de la semilla; finalmente en el cuarto período se produce la maduración y hay otro fuerte incremento en tamaño que lo asocia a un incremento de materia seca.

#### 4.3 Correlación entre diámetro polar y diámetro ecuatorial de los frutos

Para conocer la intensidad de relación entre las variables diámetro polar y diámetro ecuatorial, se aplicó un análisis de correlación de Pearson (Figura 5) indicando que ambas variables están correlacionadas de forma positiva ( $r= 0.9886$ ) lo que muestra una dependencia, de manera que al aumentar el diámetro polar aumenta el diámetro ecuatorial, también es notorio que a los 90 días después de la floración, los frutos ya habían alcanzado el 98% de su diámetro polar y el 99 % de su diámetro ecuatorial. Los valores utilizados para medir la correlación entre los dos diámetros corresponden al promedio general.

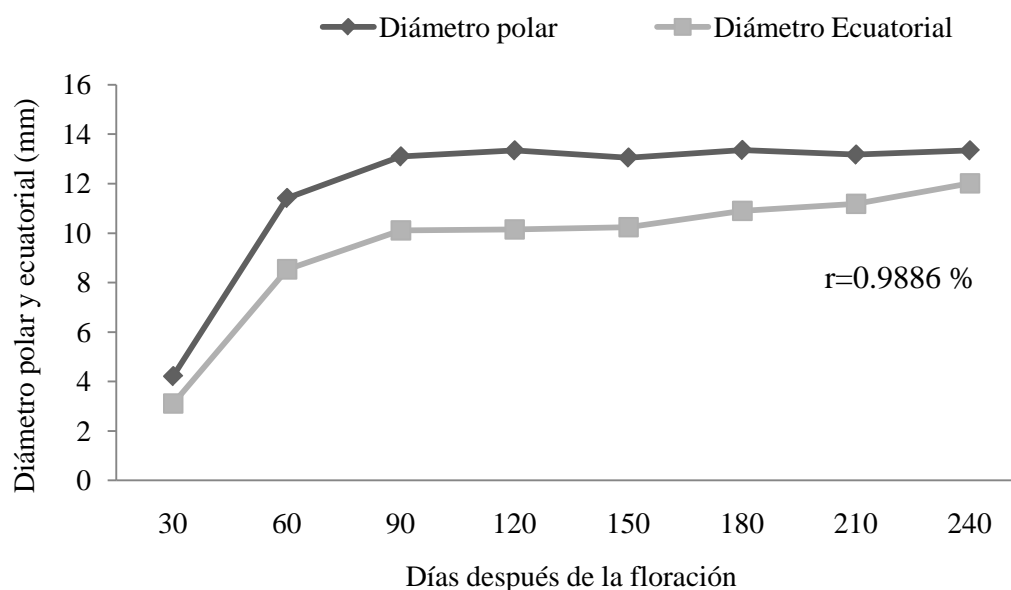


Figura 5. Correlación entre el diámetro polar y diámetro ecuatorial del fruto.

#### 4.4 Diámetro polar y diámetro ecuatorial ajustados a un modelo exponencial

El diámetro polar presenta un crecimiento rápido en los primeros 90 días después de la floración, permaneciendo constante hasta la maduración del fruto, de igual forma el diámetro ecuatorial tiene un comportamiento similar solo que de manera lenta y uniforme.

Debido a que la tendencia de los diámetros son similares, se aplicó a los datos diferentes modelos estadísticos para experimentar cual modelo se ajusta mejor a los datos. Meter *et al.*, (1996) recomienda en este caso usar modelos de regresión no lineal para estimar la curva de crecimiento en el tiempo.

Los datos observados se ajustaron mejor al modelo no lineal simple exponencial, con  $r^2=0.9917$  para diámetro polar y  $r^2=0.9934$  para el diámetro ecuatorial (Figura 6), por lo tanto, el modelo tiene mayor poder explicativo ya que se acerca a  $r^2 =1$ . Este modelo se puede utilizar para predecir el crecimiento del fruto para el cultivar CATRENIC en cualquier momento.

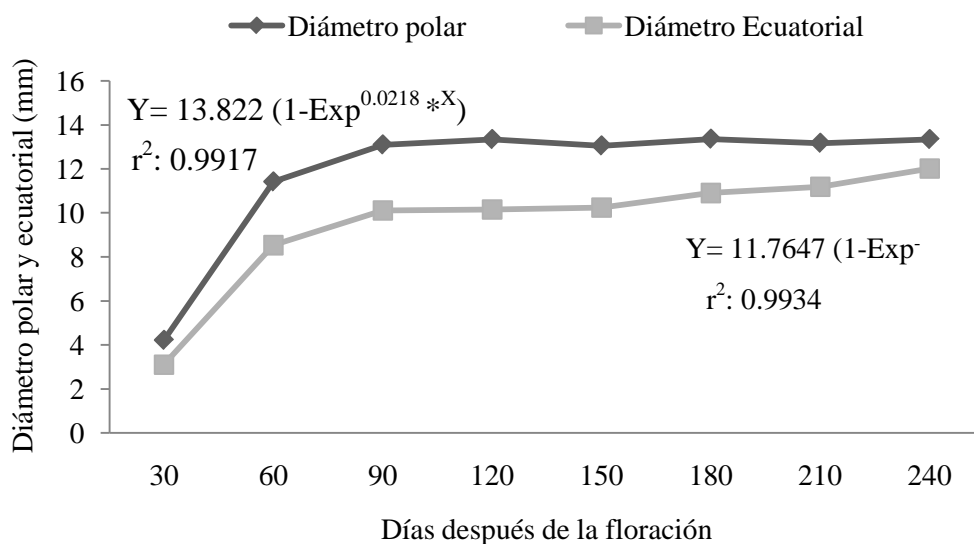


Figura 6. Crecimiento exponencial del diámetro del fruto usando el modelo de regresión no lineal.



#### 4.5 Peso fresco del fruto (g)

La curva de peso fresco de los frutos de café (Figura 7) tiene un crecimiento lento en los primeros 30 días después de la floración. A los 60 ddf presenta un incremento en peso de 0.45 g, sin embargo, el máximo valor es alcanzado entre los 180 y 210 ddf, coincidiendo con Salazar *et al.*, (1994) en un estudio realizado sobre el crecimiento del fruto de café en la variedad Colombia

Finalmente el mayor peso fresco se obtuvo con el tratamiento sin aplicación de agua con un valor de 1.45 g, y el menor peso (0.79 g) con el tratamiento de 10 mm de lámina de agua.

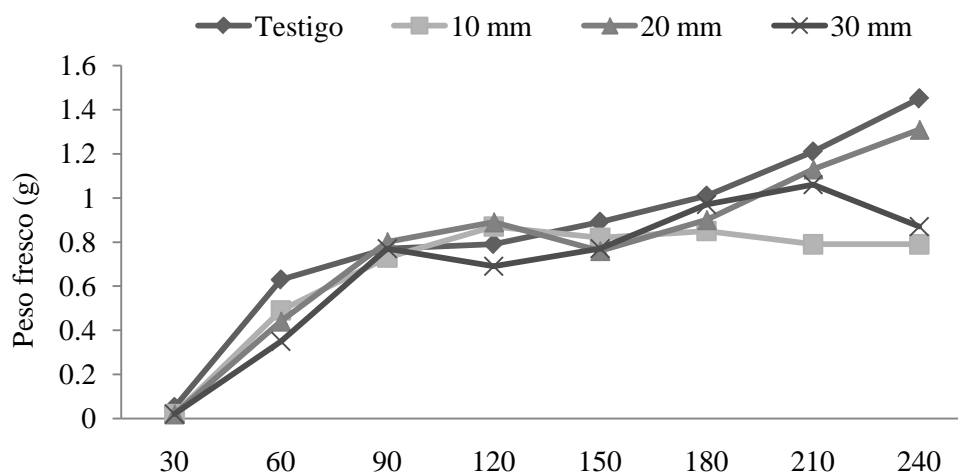


Figura 7. Peso fresco de frutos de café según tres láminas de agua.

#### 4.6 Peso seco en los frutos (g)

No existen diferencias significativas entre los tratamiento ( $p=0.5237$ ) en cuanto al peso seco en los frutos. La acumulación de la biomasa (Figura 8) expresados en términos de peso seco, no sigue el comportamiento del diámetro polar y ecuatorial ya que es bastante lento en los primeros 30 días después de la floración debido a una alta división y expansión celular, luego aumenta de forma gradual desde los 60 hasta los 180 ddf. Posterior a eso existe un incremento a los 210 días que se asocia al incremento en el tamaño del fruto por hidratación y finalmente se mantiene constante. El tratamiento que se destacó en términos de peso seco fue el testigo (sin riego) que muestra un comportamiento diferente desde los 30 hasta los 210 ddf.

Según Café de Colombia (2010), en el desarrollo del fruto de café se distinguen cuatro periodos. El primer periodo comprende hasta los 40 ddf y se presenta muy poco crecimiento en tamaño y peso del fruto. El segundo periodo corresponde a un crecimiento rápido en peso y volumen, en el que se necesita de agua, de lo contrario el fruto queda pequeño, hay secamiento y ocurre su caída, esta etapa finaliza hasta los 120 ddf. En el tercer periodo (120-210 ddf), existe gran demanda de nutrientes, se endurece el fruto y si hay déficit de agua el fruto no termina de formarse. El cuarto periodo es la época de maduración o cambio de color del fruto y ocurre después de los 210 ddf.

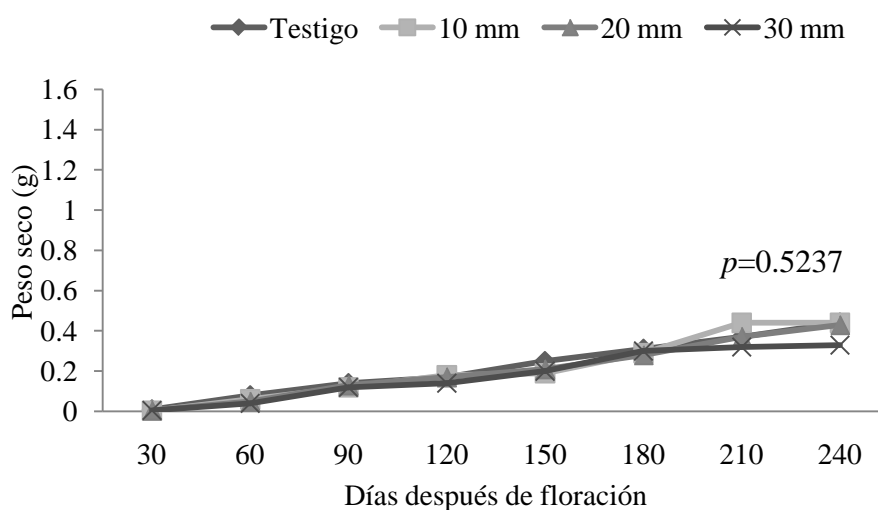


Figura 8. Peso seco de los frutos de café según tres láminas de agua.

#### 4.7 Correlación entre el peso fresco y peso seco

La relación entre peso fresco y peso seco permite calcular con buena precisión y confiabilidad el peso seco en función del peso fresco (Salazar *et al.*, 1994).

A los 30 días después de la floración el peso fresco y seco se comportan de manera similar debido a que en la primera fase inicial de desarrollo la mayor parte del fruto se encuentra constituido por agua, a partir de los 60 ddf hasta los 240 ddf, se registran variaciones que indican que a medida que avanza la maduración y ocurre el llenado del fruto la proporción de agua disminuye y en una fase final a los 240 ddf el fruto nuevamente gana humedad posiblemente debido a los cambios ocurridos en la pulpa.

Mediante un análisis de correlación entre las dos variables resultó que ambas están correlacionada en 93.15 % (Figura 9), coincidiendo con resultados del estudio realizado por Sadeghian *et al.*, (2013), donde las variaciones del peso seco en función del peso fresco fueron explicadas en el 95 % mediante el modelo sigmooidal.

Los valores utilizados para medir la correlación entre los dos pesos corresponden al promedio general de los tratamientos.

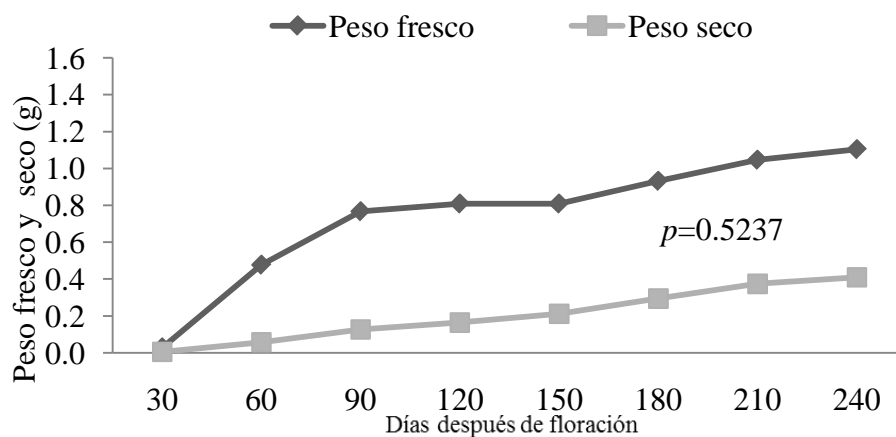


Figura 9. Correlación entre peso fresco y peso seco en frutos de café.

#### 4.8 Peso seco de los frutos ajustado al modelo Probit normal

En los primeros días la acumulación de peso seco es lenta hasta los 60 días después de la floración, posteriormente de los 60 ddf hasta los 240 ddf continua la acumulación de peso de forma rápida. Los datos se corrieron en diferentes modelos estadísticos, pero el modelo de mejor ajuste en el tiempo resultó ser el modelo Probit normal con un 99% de precisión (Figura 10).

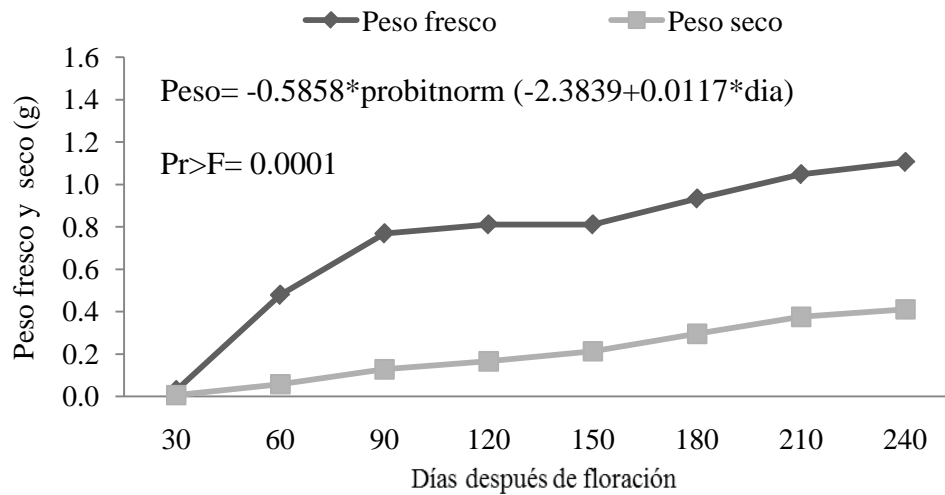


Figura 10. Comportamiento del peso seco en frutos de café según modelo Probit normal.

#### 4.9 Concentración de N, P, K, Ca y Mg en los frutos de café

Las plantas de café pasan por etapas fisiológicas, y en cada una de ellas requiere de nutrientes para cubrir las demandas puntuales en el momento que los requiere de acuerdo a su crecimiento y desarrollo (Dávila, 2012).

El conocimiento acerca de la dinámica de nutrientes desde la formación de la flor hasta el llenado del fruto, permiten identificar los períodos de mayor exigencia, pudiéndose mejorar las prácticas de fertilización (Sadeghian *et al.*, 2013).

En la Figura 11, se presentan las curvas de concentración de cada nutriente durante el crecimiento de los frutos de café. En general el orden en la concentración de los macro nutrientes fue magnesio (Mg) > potasio (K) > fósforo (P) > calcio (Ca) > nitrógeno (N), el cual no coincide con los resultados de Ramírez *et al.*, (2002) evaluando la variedad caturra, ni con el estudio con la variedad Pacas de Chavarría y Calderón (2014). Esto quizás se deba a las exigencias y características de elementos nutritivos que requiere la variedad CATRENIC.

Los resultados muestran que a medida que el fruto crece y se desarrolla, la concentración de nutrientes disminuye exceptuando al potasio cuyo comportamiento a partir de los 90 días permanece constante. El comportamiento descrito es reportado para café por Sadeghian *et al.*,

(2013) y está asociado a las variaciones en el crecimiento del fruto a través del tiempo conociéndose como el efecto de la dilución.

El magnesio, fósforo y calcio obtuvieron la mayor concentración en los frutos a los 30 ddf pero entre los 60 - 210 ddf se mantiene casi constante. Esto obedece al aumento de tamaño de las células de los frutos, para magnesio (Figura 11a), la mayor concentración se registró con la lámina de agua de 10 mm con 0.84%, en el caso del fosforo (Figura 11c) resultó la lámina de agua de 30 mm, 10 mm y el testigo (0.56%, 0.47% y 0.46%), para el calcio (Figura 11d) los tratamientos que obtuvieron la mayor concentración fueron el de 30 mm y el testigo (0.60% y 0.53% respectivamente),

En el caso del potasio (Figura 11b), mostró más concentración a los 30 ddf, por efecto de la aplicación de la lámina de agua de 30 mm con 0.49%, permaneciendo constante hasta los 240 ddf, también se observó que a partir de los 90 ddf y 210 ddf la concentración de este nutriente no vario por efecto de los tratamientos situándose entre 0.47% y 0.50%.

García (2007) menciona que en los suelos de Nicaragua los contenidos de potasio son relativamente altos y por consiguiente, no deberían de existir problemas en el abastecimiento de este nutriente (excepción en suelos arenosos), sin embargo, es necesario tener en cuenta algunas consideraciones como los posibles efectos que provoca el exceso de K en la asimilación de Mg y/o Ca por efecto de antagonismo (relación entre las bases) y también que cantidades adecuadas de potasio contribuyen con la absorción de otros elementos como en nitrógeno contribuyendo con el aumento de los rendimientos.

A los 30 días después de la floración, en los frutos existe una concentración mayor de nutrientes, en esta etapa han alcanzado un tamaño en grosor de 4.22 mm y un peso fresco de 0.03 g, en este momento la mayor concentración de nitrógeno (Figura 11e) en los frutos se presenta en el testigo sin aplicación de agua (0 mm) y el tratamiento con 30 mm de lámina de agua.

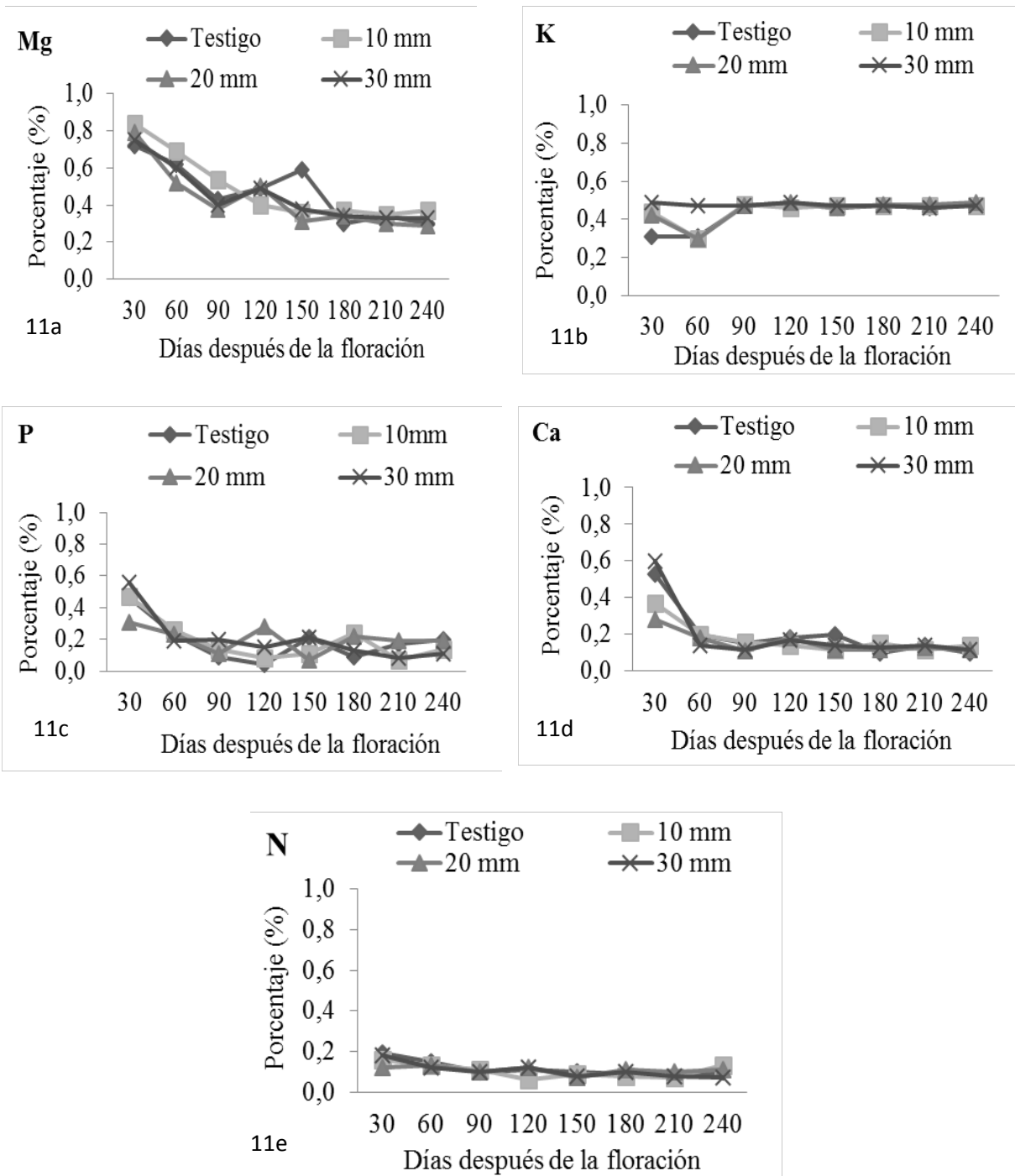


Figura 11. Concentración de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en frutos según láminas de agua

A los 60 días, la concentración de nutrientes (magnesio, fosforo, calcio y nitrógeno) en los frutos comienza a disminuir y se mantiene entre 0.08 a 0.12% desde este periodo hasta los 210 ddf. A partir de los 210 ddf se produce un incremento de concentración de nitrógeno (Figura 11e), debido a que en los meses de noviembre y diciembre se encontraron flores y frutos nuevos en las plantas de café.

#### **4.10 Acumulación de N, P, K, Ca y Mg en los frutos de café**

La acumulación de los macro nutrientes N, P, K, Ca y Mg en el fruto a través del tiempo es presentada en la Figura 12 y resulta de multiplicar la concentración del elemento (en porcentaje) por los datos de peso del fruto (gramos).

Durante el periodo de crecimiento o desarrollo de los frutos de café cultivar CATRENIC, se observó el siguiente orden en la acumulación de los elementos según los tratamientos siendo  $K > Mg > P > Ca > N$ . Los estudios realizados por Ramírez *et al.*, (2002) y Sadeghian *et al.*, (2013) reportan un orden diferente con respecto a las acumulaciones en CATRENIC en comparación con la variedad Caturra ( $K > N > Ca > Mg > P > S$ ) y variedad Castillo ( $K > N > Ca > Mg > P > S$ ).

El potasio representa uno de los principales elementos que la planta extrae, para complementar su nutrición y alcanzar un rendimiento alto y de buena calidad. Este elemento, es siempre cuantitativamente importante en las cenizas vegetales representando del 25 al 50% en peso seco (García, 2007).

Conociendo el comportamiento de la acumulación de estos nutrientes se determinan 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 después de la floración momento en el cual inicia un alto requerimiento de nutrientes. Con esto se logra maximizar el aprovechamiento de los fertilizantes (Sancho, 1999).

La acumulación de nutrientes en frutos de café mostró que ocurre de manera lenta hasta los 60 ddf y posteriormente se produce un aumento en el contenido de nutrientes, además hay un comportamiento de acumulación diferente entre cada uno de ellos, seguidamente al momento de la cosecha (240 ddf) los nutrientes tienden a reducirse hasta en un 43.5% por efecto de la dilución el cual consiste en la disminución de las concentraciones de nutrientes debido al crecimiento rápido de los frutos. En cambio el potasio aumentó en un 15%. En un estudio realizado por Chavarría y Calderón (2014) con la variedad Pacas y diferentes niveles de fertilización, encontraron que en los últimos meses acorde a la maduración y cosecha de frutos, se registra mayor contenido de potasio en un sistema con manejo convencional intensivo.

La acumulación de potasio (Figura 12a), se manifiesta de manera similar por efecto de los cuatro tratamientos que acumulan cantidades similares del nutriente de forma lenta hasta los 180 días después de la floración. A los 240 ddf se observan las mayores acumulaciones por efecto del tratamiento sin aplicación de agua, las láminas de 10 y 20 mm con 0.2 g de potasio, y el tratamiento con menor acumulación se produjo por efecto de la lámina de 30 mm con 0.15g de potasio.

La acumulación del magnesio (Figura 12b), tiene un comportamiento similar al calcio. Desde los 30 ddf hasta 180 ddf incrementa paulatinamente pero con igual similitud entre los tratamientos. A los 210 ddf se destaca el testigo y la lámina de 20 mm.

Para el fósforo (Figura 12c), la acumulación tiene diferentes variaciones durante el desarrollo del fruto pero entre los 180 ddf y 210 ddf, se observó la mayor acumulación con la aplicación de la lámina de agua de 20 mm (0.09 g) y el testigo 0.083 g.

La acumulación de calcio (Figura 12d), se dio de manera similar en todos los tratamientos desde los 30 ddf hasta los 120 ddf, sin embargo, a los 150 ddf el testigo supera a los demás tratamientos con 0.05 g y posteriormente desciende paulatinamente; en cambio, las láminas de 10, 20 y 30 mm disminuyeron su valor pero a partir de los 180 ddf hasta la cosecha incrementan sus valores de acumulación entre los 0.043 g y 0.061 g de calcio.



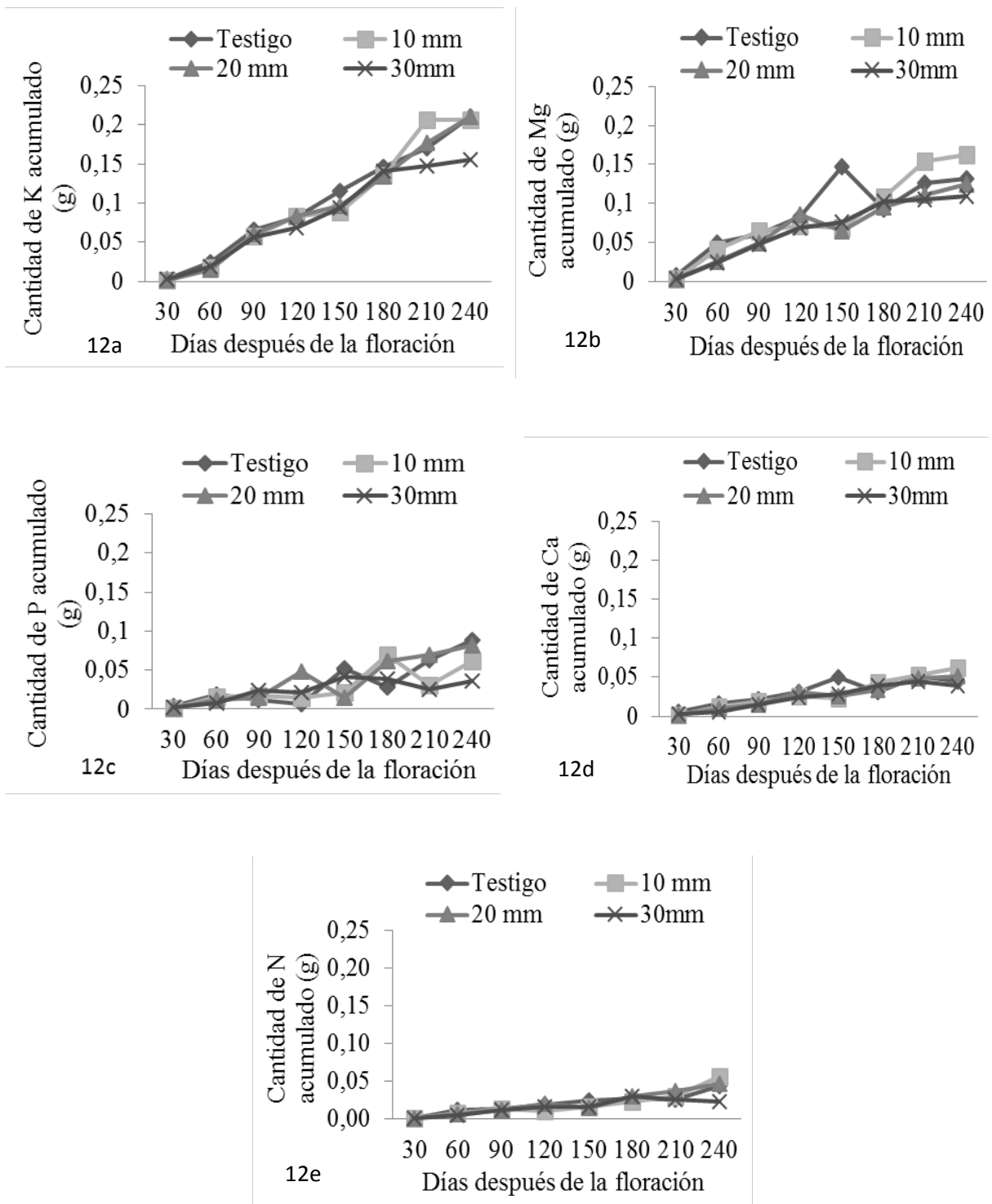


Figura 12. Acumulación de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en frutos según láminas de agua

El tratamiento de 10 mm y el testigo presentaron durante el desarrollo de los frutos la mayor acumulación de nitrógeno (Figura 12e) con un rango de 0.042 g a 0.060 g

De manera general la cantidad de nutrientes acumulada en los frutos de café durante los primeros 30 a 90 ddf fue de 13.31%. Desde los 120 hasta los 180 ddf acumularon 41.62% y de los 210 ddf hasta la cosecha 45%. Los mayores requerimientos totales de los elementos son consumidos por los frutos en el periodo que va desde los 30 hasta los 180 días después de la floración.

## V. CONCLUSIONES

Los frutos de café presentan un rápido crecimiento durante los primeros 90 días después de la floración y es hasta los 120 ddf que alcanzan su máximo tamaño.

No existen diferencias significativas en el diámetro polar y el diámetro ecuatorial según la influencia de las diferentes láminas de agua.

El mayor peso fresco (1.45 g) se obtuvo con el tratamientos sin aplicación de agua, no existen diferencias significativas en el peso seco, pero se registra una acumulación gradual desde los 30 ddf hasta los 240 ddf.

El comportamiento de la curva de crecimiento del fruto de café se ajusta a un modelo matemático no lineal simple exponencial y la curva de acumulación de peso seco a un modelo Probit normal.

El orden de la concentración de los nutrientes en los frutos fue  $Mg > K > P > Ca > N$ ; y a medida que los frutos crecieron la concentración disminuyó exceptuando el potasio cuyo comportamiento permaneció constante.

El orden de la acumulación de los nutrientes en los frutos fue  $K > Mg > P > Ca > N$ , a los 240 ddf los nutrientes tienden a reducirse hasta en un 43.5% a excepción del potasio que aumenta en un 15%.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Realizar el experimento en otras localidades para determinar el rango de variación de acuerdo a las condiciones del lugar, variedad y época.

Utilizar el modelo no lineal simple exponencial para determinar el crecimiento y el modelo Probit normal para cálculos de peso seco.

Considerar una mayor cantidad de frutos de café en la metodología de muestreo para un mejor análisis de las variables.

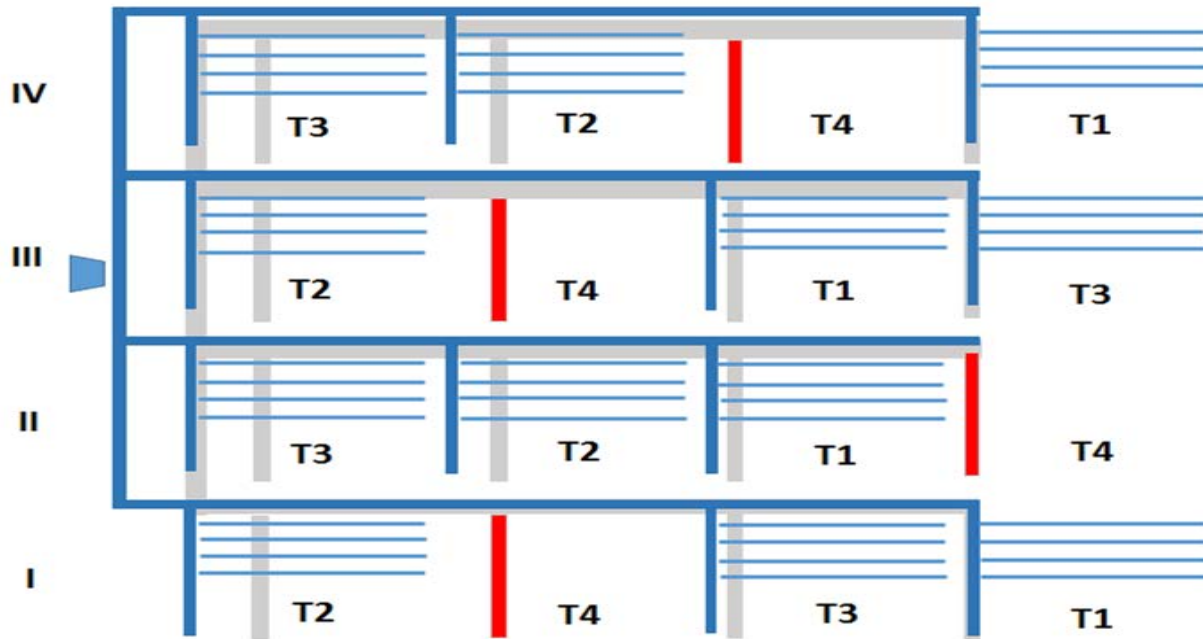
## VII. LITERATURA CITADA

- Bertsch, F; Ramírez, F. 1997. Metodologías para afinar programas de fertilización de los cultivos por medio del uso de curvas de absorción de nutrimentos. In: Memoria jornadas de investigación. Universidad de Costa Rica, Vicerrectoría de investigación. 183 p.
- BaylónDuarte, M. 2015. Variedad CATRENIC. Managua, NI. 2 p
- Bertsch, F. 2005. Estudio de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización (en línea). Informaciones agronómicas. 57: 1-10. Consultado 6 de mar. 2013. Disponible en: [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/76A0E12D2DF131AB05256FF200587B24/\\$file/Estudios+de+absorci%C3%B3n+de+nutrientes+como+apoyo.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/76A0E12D2DF131AB05256FF200587B24/$file/Estudios+de+absorci%C3%B3n+de+nutrientes+como+apoyo.pdf)
- Bolaños, M. 2005. Ensayos de sistemas de café. La calidad del café durante los primeros años del ensayo ciclo cafetalero 2004/2005. 1-7.
- Café de Colombia. 2010. El árbol y el entorno (en línea). Consultado 20 de mar. 2015. Disponible en: [http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre\\_el\\_cafe/el\\_cafe/el\\_arbol\\_y\\_el\\_entorno/](http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_arbol_y_el_entorno/)
- Chavarría, A; Calderón, N. 2014. Crecimiento y acumulación de nutrientes por los frutos de café (*Coffea arabica* L.) variedad Pacas bajo combinaciones de especies de árboles de sombra y diferentes niveles de fertilización, Masatepe, Nicaragua, 2012. Tesis Ing. Agrónomo. Managua, NI. Universidad Nacional Agraria (UNA). 50 p.
- Dávila, K. 2012. Nutrición del café. Unión de Productores Agropecuarios de Nicaragua (Upanic): La revista agropecuaria 20: 19-21
- FUNICA (Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario y Forestal de Nicaragua). 2013. Estudio de brechas tecnológicas en la cadena agro productiva del café oro de exportación de Las Segovias, Nicaragua. Informe final. Managua, NI.
- García Centeno, L. 2007. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Managua, NI. 206 P.
- 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>
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales/NI). 2013. Datos de precipitación, temperatura y humedad relativa. Estadísticas de la estación meteorológica campos azules, Masatepe, NI.
- Marín, CE. 1990. Estudios agroecológicos y su aplicación al desarrollo productivo agropecuario Región IV-MAG, NI.
- Marrero, E. 2006. Régimen de riego. Managua, Ni. Universidad Nacional Agraria. 183 p.
- Martínez Cortijo, FJ. 2001. Introducción al riego. Valencia. ed. Universidad Politécnica de Valencia, ES. 200 p.
- Meter, J; Kutner, M; Nachfsheim, C; Wasserman W. 1996. Introducción to non linear regresion in applied linear statistical models. 4. ed. McGraw-Hill, US. c.13. p 531-566.

- Montaldo, P. 1982. Agroecología del Trópico Americano. San José, CR. (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR) IICA. 205 p. (serie de libros y materiales educativos; no 51)
- Moraga Quezada, P. 2013. Manejo de plantaciones de café con la variedad CATRENIC en sus diferentes etapas fenológicas. Masatepe, NI. 32 p.
- Ramírez, F; Bertsch, F; Mora, L. 2002. Consumo de nutrientes por los frutos de café caturra durante un ciclo de desarrollo y maduración en Aquiares, Turrialba, CR. Agronomía Costarricense 26(1): 33-42.
- Rojas, O. 1987. Zonificación agroecológica para el cultivo del Café (*Coffea arabica* L.) en Costa Rica. San José, CR. IICA. 83p. (Publicación Miscelánea/IICA; no. A1/OCR-87-007).
- Sadeghian, S; Mejía, B; González H. 2013. Acumulación de calcio, magnesio y azufre en los frutos de café (en línea). Consultado 19 de feb. 2015. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/8981B7AF181805FB05257B9F004B53A1/\\$FILE/Art%205.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/8981B7AF181805FB05257B9F004B53A1/$FILE/Art%205.pdf)
2013. Acumulación de nitrógeno, fosforo y potasio en los frutos de café (en línea). Cenicafe 429:1-8p. Consultado 19 de feb. 2015. Disponible en <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/407/1/avt0429.pdf>
- Salazar Gutiérrez, MR; Chaves Córdoba, B; Riaño Herrera, MN; Jaramillo Robledo, A. 1994. Crecimiento del fruto de café (*Coffea arabica* L.) var. Colombia. Cenicafe. 45(2): 41-50.
- Sancho V, H. 1999. Curvas de absorción de nutrientes: importancia y uso en los programas de fertilización. Informes agronómicos. no. 36: 11-13.
- Segura, A. 1992. Estudio del Crecimiento del fruto de café. In Informe anual de labores 1991-1992. Convenio ICAFE-MAG. Heredia, CR. 363 p.

## VIII. ANEXOS

Anexo 1. Plano de campo y distribución de los tratamientos



## Anexo 2 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: “*ETc*” diaria; calculándose la misma por el método del “*evaporímetro Clase A*”:

$$ETc = Kc \times Eo$$

Donde:

*Kc*.- *Coefficiente 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.

*Eo*.- *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 en 1, tendremos:

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

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

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

$$\text{Luego: } M_r = \frac{ET_{\text{diseño}}}{Ea \times Cu} = \frac{5}{0.85 \times 0.80} \approx 7.35 \text{ mm} \cdot d^{-1}$$

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



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

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

Dónde:

Ea.- Eficiencia de aplicación, del riego localizado, según: García (2008), 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 Merrian y Keller, (1974), ambos citados por Quinza Guerrero, *et al*, (1993), 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 (2006).

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

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

$$\curvearrowright \quad \text{Tiempo de riego: } -Tr = \frac{\text{Dosis}}{q_e \times Ne}$$

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 3. Imágenes de estructuras vegetales reproductivas y registro de información.



Yemas florales



Etapa de floración



Selección de bandolas



Etapa de fructificación



Medición de diámetros



Frutos en época de cosecha

Continuación...



Frutos secos



Molienda de los frutos