



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

CAMPUS ARTURO RUIZ MORA

DIRECCIÓN GENERAL DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN NUTRICIÓN VEGETAL

TRABAJO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DE:

MAGÍSTER EN NUTRICIÓN VEGETAL

**EFFECTO DEL MANEJO A LARGO PLAZO DE LAS RELACIONES Ca-Mg-K EN
LA PRODUCTIVIDAD DE LA PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis* Jacq.) CON
Y SIN RIEGO COMPLEMENTARIO**

AUTOR:

ING. EMMA MARGARITA ÁLVAREZ SÁNCHEZ

DIRECTOR:

ING. RODRIGO SAQUICELA, MSc.

Santo Domingo de los Tsáchilas - Ecuador

Mayo – 2015

**HOJA DE SUSTENTACIÓN Y APROBACIÓN DE LOS INTEGRANTES DEL
TRIBUNAL**

**EFFECTO DEL MANEJO A LARGO PLAZO DE LAS RELACIONES Ca-Mg-K EN
LA PRODUCTIVIDAD DE LA PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis* Jacq.) CON
Y SIN RIEGO COMPLEMENTARIO**

ESTE PLAN DE GRADO FUE ACEPTADO EN SU PRESENTE FORMA POR EL CENTRO DE POSTGRADOS DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL EN EL PROGRAMA DE MAESTRÍA DE NUTRICIÓN VEGETAL, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAGÍSTER EN NUTRICIÓN VEGETAL.

Ing. Agrop. Rodrigo Saquicela MSc. -----

DIRECTOR DE TESIS

APROBADO

Ing. Agr. Gustavo Bernal Ph.D. -----

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Dra. Luz María Martínez Buñay -----

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Agr. Edison Silva Cifuentes Ph.D. -----

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Santo Domingo de los Tsáchilas, del 2015.

CERTIFICACIÓN DEL ESTUDIANTE DE AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Emma Margarita Álvarez Sánchez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría y que no ha sido presentado para ningún grado o calificación profesional.

Además; y, que de acuerdo a la Ley de Propiedad Intelectual, todos los derechos del presente trabajo de investigación pertenecen a la Universidad Tecnológica Equinoccial, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Emma Margarita Álvarez Sánchez

C.I. 0802158477

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN VEGETAL

INFORME DEL DIRECTOR DE TESIS

Ing. Agrop. Rodrigo Saquicela MSc., en calidad de Director de Tesis del tema: “EFECTO DEL MANEJO A LARGO PLAZO DE LAS RELACIONES Ca-Mg-K EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis* Jacq.) CON Y SIN RIEGO COMPLEMENTARIO”, realizada por la Ing. Emma Margarita Álvarez Sánchez, para optar por el título de MÁSTER EN NUTRICIÓN VEGETAL, doy fe que el presente trabajo de investigación ha sido dirigido y revisado en todas sus partes; por lo tanto la tesis esta lista para ser entregada y publicada.

Particular que le comunico para los fines consiguientes.

Atentamente

Ing. Agrop. Rodrigo Saquicela MSc.

DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mí querido padre: **Guillermo** que supo brindarme su cariño, apoyo incondicional, el cual se volvió un pilar fundamental en mi vida, que me sirvió para darme fuerzas y así llegar a ser una profesional con más oportunidades de triunfar en la vida. Y a mi mamita **Gladys** que siempre estuvo conmigo y pensó para mi hermano y para mí un buen futuro lleno de éxitos y triunfos.

Su hija que los quiere:

Emma Margarita Alvarez Sánchez

AGRADECIMIENTOS

A mi papi **Guillermo Alvarez** quien es mi fortaleza, mi ejemplo de superación, que ha sabido brindarme en todo momento cariño y fuerza, que me han servido para ser perseverante y seguir con fuerza la meta de superación en mi vida profesional.

A mi hermano **Luis**, quien estuvo a mi lado cada vez que necesitaba a un amigo y no me dejo sola, apoyándome en cada una de mis ideas para conseguir lo que quiero.

A la Empresa **AGROORGÁNICO** ya que me brindo la facilidad de llevar a cabo la investigación propuesta.

A todos los socios de **ANCUPA**, que con sus aportaciones hicieron posible mi investigación.

A mi amigo William Q., quien supo ayudarme desinteresadamente durante el desarrollo de mi trabajo investigativo y supo brindarme palabras de aliento para resolver los problemas durante y después de mis estudios de Maestría.

A mis profesores la Universidad Tecnológica Equinoccial, quienes supieron impartir sus conocimientos durante mi carrera universitaria.

A mis compañeros y amigos de Maestría de Nutrición Vegetal: Humberto, Manuel, Patricio, con quienes hice una gran amistad.

Al Ing. Rodrigo Saquicela, quien como director de tesis y gracias a sus conocimientos científicos, supo guiarme hasta poder culminar el trabajo investigativo.

A mis compañeros del CIPAL: Santiago, Katty, Orlando, Edwin. Al personal del CIPAL: Cristian Vega, Fabián, Klever, José, Johnny, Ricardo, Carlitos, Mirita.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DEL ESTUDIANTE DE AUTORÍA DEL TRABAJO	III
INFORME DEL DIRECTOR DE TESIS	IV
RESUMEN	XIII
SUMMARY	XIV
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problemática	1
1.2. Justificación	2
1.3. Alcance	4
1.4. Objetivos de la investigación.....	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
1.5. Hipótesis	5
CAPÍTULO II.....	6
REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.2.1. Requerimientos Ambientales	8
2.2.2. Nutrición en Palma aceitera.	8
2.2.2.1. Potasio	9
2.2.2.2. Calcio	11
2.2.2.3. Magnesio	12
2.2.3. Relaciones catiónicas y bases intercambiables	13
2.2.4. El agua en la palma aceitera.....	13
2.2.5. Producción potencial de la palma de aceite y su relación con el riego.....	15
2.2.6. Sistemas de riego y su importancia.....	16
CAPÍTULO III	18

MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Sitio de estudio.....	18
3.1.1. Localización	18
3.1.2. Características Climáticas:.....	18
3.1.3. Características Edáficas:	19
3.2. Técnicas , procedimientos, instrumentos y recursos	19
3.3. Factores, niveles, tratamientos, diseño experimental y variables en estudio.	19
3.3.1. Factores y niveles.....	19
3.3.2. Tratamientos.	20
3.3.3. Diseño experimental y unidad experimental.....	21
3.3.4. Variables de estudio.....	23
3.3.5. Análisis financiero	26
3.4. Manejo del experimento	26
3.4.1. Material de siembra	26
3.4.2. Fertilizantes utilizados	26
3.4.3. Sistema de riego.....	27
3.4.4. Láminas de riego aplicadas.....	27
3.4.5. Manejo agronómico del cultivo	29
CAPÍTULO IV.....	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1. Variables agronómicas	31
4.2. Ca (meq/100 g suelo) a diferentes profundidades del suelo en el sexto año de investigación.....	31
4.3. Mg (meq/100 g suelo) a diferentes profundidades del suelo en el sexto año de investigación.....	32
4.4. K (meq/100 g suelo) a diferentes profundidades del suelo en el sexto año de investigación.....	34

4.5. Análisis foliar en el sexto año de investigación.	35
4.6. Análisis financiero (USD) en el sexto año de estudio.	35
4.7. Diámetro de la base del estipe (cm) en los seis años de investigación.	36
4.8. Altura de planta (cm) en los seis años de investigación.	37
4.9. Emisión foliar (n° hojas planta ⁻¹ año ⁻¹) en los seis años de investigación.	39
4.10. Diámetro de la corona foliar (m) en los seis años de investigación.	42
4.11. Área foliar (m ²) en los seis años de investigación.	43
4.12. Producción de la Planta (Tmha ⁻¹) en los seis años de investigación.	47
CAPÍTULO V	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
5.1. Conclusiones.	49
5.2. Recomendaciones	49
CAPÍTULO VI	51
BIBLIOGRAFÍA	51

TABLAS

Tabla 3.1. Tratamientos a evaluarse en el experimento.	21
Tabla 3.2. Descripción del análisis de variancia (ADEVA) del experimento para el sexto año.	21
Tabla 3.3. Descripción del análisis de variancia (ADEVA) para los seis años del experimento.	22
Tabla 3.4. Plan de Fertilización	29
Tabla 4.1. Promedios para interacción riego (a) x relaciones catiónicas (b) y prueba de Tukey al 5% para la variable Ca (meq/100 g suelo) a diferente profundidad, en el sexto año de investigación.	32

Tabla 4.2. Promedios para relaciones catiónicas (b) y prueba de Tukey al 5% para la variable Mg (meq/100 g suelo) a diferente profundidad, en el sexto año de investigación.	33
Tabla 4.3. Promedios para interacción riego (a) x relaciones catiónicas (b) y prueba de Tukey al 5% para la variable Mg (meq/100 g suelo) a diferente profundidad, en el sexto año de investigación.	34
Tabla 4.4. Promedios para relaciones catiónicas (b) y prueba de Tukey al 5% para la variable K (meq/100 g suelo) a diferente profundidad, en el sexto año de investigación...	35
Tabla 4.5. Promedios en la interacción Riego x Ca-Mg-K para la Análisis financiero (USD), en el sexto año de investigación.	36
Tabla 4.6. Promedios para años (c) y prueba de Tukey al 5% para la variable Diámetro de la base del estipe (cm) en los seis años de investigación.	37
Tabla 4.7. Promedios para relaciones catiónicas (b) y prueba de Tukey al 5% para la variable altura de planta (cm) en los seis años de investigación.	38
Tabla 4.8. Promedios para riego x años (a x c) y prueba de Tukey al 5% para la variable área foliar de la palma (m ²) en seis años de investigación.	46
Tabla 4.9. Promedios para relaciones catiónicas x años (b x c) y prueba de Tukey al 5% para la variable área foliar de la palma (m ²) en seis años de investigación.	46
Tabla 4.10. Promedios para riego x relaciones catiónicas x años (axbxc) y prueba de Tukey al 5% para la variable área foliar de la palma (m ²) en seis años de investigación... ..	47
Tabla 4.11. Promedios para años (c) y prueba de Tukey al 5% para la variable producción de la planta (t ha ⁻¹) en seis años de investigación.	48

FIGURAS

Figura 4.1. Promedios para la variable altura de planta (cm) para años (c) en los seis años de investigación.	39
Figura 4.2. Promedios para la variable emisión foliar (n° hojas planta ⁻¹ año ⁻¹) para relaciones catiónicas (b) en los seis años de investigación.	41

Figura 4.3. Promedios para la variable emisión foliar (n° hojas planta ⁻¹ año ⁻¹) para años (c) en los seis años de investigación.	41
Figura 4.4. Promedios para la variable diámetro de la corona foliar de la palma (m) para años (c) en los seis años de investigación.	42
Figura 4.5. Promedios para la variable área foliar de la palma (m ²) para relaciones catiónicas (b) en los seis años de investigación.....	45
Figura 4.6. Promedios para la variable área foliar de la palma (m ²) para años (c) en los seis años de investigación.....	45

ANEXOS

ANEXO 1. Distribución de las interacciones en campo.	62
ANEXO 2. Cuadrados medios de los análisis de variancia de ocho caracteres agronómicos en el sexto año de evaluación. CIPAL. 2012.....	63
ANEXO 3. Cuadrados medios de los análisis de variancia de Ca (meq / 100 g suelo) a diferentes profundidades en el sexto año de evaluación. CIPAL. 2012.	64
ANEXO 4. Cuadrados medios de los análisis de variancia de Mg (meq / 100 g suelo) a diferentes profundidades en el sexto año de evaluación. CIPAL. 2012.	65
ANEXO 5. Cuadrados medios de los análisis de variancia de K (meq / 100 g suelo) a diferentes profundidades en el sexto año de evaluación. CIPAL. 2012.	66
ANEXO 6. Análisis de la variancia para Ca, Mg y K foliar en el sexto año de evaluación. CIPAL. 2012.....	67
ANEXO 7. Análisis financiero del sexto año.....	68
ANEXO 8. Cuadrados medios de los análisis de variancia de dos caracteres agronómicos en seis años de evaluación. CIPAL. 2012.	69
ANEXO 9. Cuadrados medios de los análisis de variancia de tres caracteres agronómicos en seis años de evaluación. CIPAL. 2012.	70
ANEXO 10. Análisis de variancia de producción de la planta (t ha ⁻¹ año ⁻¹) en seis años de evaluación. CIPAL. 2012.	71

ANEXO 11. Datos temperatura media ($^{\circ}\text{C}$) en los años de estudio.....	72
ANEXO 12. Datos de precipitación (mm) en los años de estudio.	72
ANEXO 13. Datos heliofanía (hora/luz) en los años de estudio.	73
ANEXO 14. Toma de muestras y etiquetado.	74
ANEXO 15. Etiquetas de la muestra Con riego x Ca:60%, Mg:30% y K:10%	74
ANEXO 16. Etiquetas de la muestra Con riego x Ca:70%, Mg:20% y K:10%	74
ANEXO 17. Etiquetas de la muestra Con riego x Ca:80%, Mg:15% y K:5%	75
ANEXO 18. Etiquetas de la muestra Sin riego x Ca:60%, Mg:30% y K:10%	75
ANEXO 19. Etiquetas de la muestra Sin riego x Ca:70%, Mg:20% y K:10%	75
ANEXO 20. Etiquetas de la muestra Sin riego x Ca:80%, Mg:15% y K:5%	76
ANEXO 21. Medición de la variable área foliar.	76



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

CAMPUS ARTURO RUIZ MORA

DIRECCIÓN GENERAL DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN NUTRICIÓN VEGETAL

EFECTO DEL MANEJO A LARGO PLAZO DE LAS RELACIONES Ca-Mg-K EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis* Jacq.) CON Y SIN RIEGO COMPLEMENTARIO

Autor: Ing. Emma Margarita Alvarez Sánchez

Director: Ing. Rodrigo Saquicela, M.Sc.

Fecha: Mayo, 2015.

RESUMEN

Debido a la falta de información sobre los efectos del desequilibrio de los contenidos de Ca, Mg y K en el suelo que influyen sobre el crecimiento y producción de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.), tanto en condiciones de secano como con riego suplementario, se realizó este estudio para evaluar el efecto a largo plazo de la combinación de diferentes relaciones catiónicas Ca-Mg-K en la productividad de la palma, con y sin riego complementario. La presente investigación se desarrolló en el Centro de Investigaciones de Palma Aceitera (CIPAL), en un suelo Andisol de textura franco-limoso, se utilizó el híbrido intra-específico ASD (DELI X GHANA 648), con plantas de ocho años de edad y sembradas a 9x9 m de separación. Se evaluaron tres factores: riego (a), relaciones catiónicas (b) y años (c). Se utilizó un diseño de parcela dividida con tres repeticiones para el año seis y un análisis de medidas repetidas en parcela dividida para el análisis combinado incluyendo los cinco años anteriores y para la separación de medias se utilizó la prueba de Tukey al 5%. Se evaluaron variables agronómicas, productivas, características químicas del suelo y de la planta. No se presentaron diferencias estadísticas para ninguna fuente de variación en el sexto año de evaluación para las variables agronómicas. El contenido de Ca en el suelo aumentó mientras se incrementó la profundidad de la muestra. Con respecto al K, la mayor cantidad en el suelo, se observó con la relación (Ca:60%, Mg:30% y K:10%) y su efecto fue mayor sobre las variables: altura de planta y área foliar en los seis años de investigación; y en la tasa de extracción en el sexto año. El riego tuvo efecto positivo sobre las variables: producción y área foliar en los seis años; además tuvo efecto en la producción acumulada por lo que se recomienda mantener en el suelo la relación catiónica (Ca:60%, Mg:30% y K:10%) y aplicar riego durante los meses de junio a diciembre, donde sea posible.

Palabras claves: palma aceitera, relaciones catiónicas, años, riego, variables agronómicas.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

CAMPUS ARTURO RUIZ MORA

DIRECCIÓN GENERAL DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN NUTRICIÓN VEGETAL

EFFECTO DEL MANEJO A LARGO PLAZO DE LAS RELACIONES Ca-Mg-K EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis* Jacq.) CON Y SIN RIEGO COMPLEMENTARIO

Author: Ing. Emma Margarita Alvarez Sánchez

Advisor: Ing. Rodrigo Saquicela, M.Sc.

Date: Mayo, 2015.

SUMMARY

Due to lack of information on the effects of the imbalance of the contents of Ca, Mg and K in the soil that influence the growth and production of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.), In dry conditions and with supplementary irrigation, This study conducted to evaluate the long-term effect of the combination of different cationic ratios Ca-Mg-K in the productivity of the palm, with and without supplemental irrigation. This research was conducted at the Research Center Palm Oil (CIPAL) Andisoil a silty loam, the intra-specific hybrid ASD (X GHANA DELI 648) was used, with plants and eight years old planted a 9 x 9 m apart. Irrigation (a), cationic relations (b) and years (c): three factors were evaluated. Split plot design with three replicates for year six and analysis of split-plot repeated measures for the combined analysis including the previous five years and the mean separation Tukey test was used at 5% was used. Agronomic, production, chemical characteristics of soil and plant variables were evaluated. No statistical differences for any variation source in the sixth year of evaluation for agronomic variables were presented. The content of Ca in the soil increased as the depth of the sample was increased. With respect to K, the most in the ground, was observed with the ratio (Ca: 60%, Mg: 30%, K: 10%) and its effect was greater on the variables: plant height and leaf area in six years of research; and the rate of extraction in the sixth year. Irrigation had positive effect on the variables: production and leaf area in six years; also it took effect on cumulative production so it is recommended to keep the soil cationic (Ca: 60%, Mg: 30%, K: 10%) and apply irrigation during the months of June to December, where possible.

Keywords: oil palm, cationic relationships, years, irrigation, agronomic variables.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Problemática

La presencia del síndrome denominado amarillamiento-secamiento de la palma es frecuente, aun en plantaciones con aplicación de dosis aparentemente adecuadas de fertilizantes. Se considera que este problema es provocado por un desequilibrio en la relación entre calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) en el suelo que afecta directamente el desarrollo, producción y estado sanitario del cultivo (Cevallos, Ayala y Calvache, 2009). Las zonas de producción de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) de la costa de Ecuador pasan por un periodo de déficit de lluvias, de mayor en los meses de Enero a Mayo y de menor intensidad en los meses Junio a Diciembre, de acuerdo a su ubicación geográfica. En la década de los 90, varios productores de palma empezaron a utilizar riego complementario en las épocas de déficit después de que se había demostrado el efecto positivo de esta práctica agronómica en el rendimiento de racimos de palma (Calvache, Chimbo y Herrera, 2012; Mite, Carrillo y Espinosa, 1998). Se observó también que el riego se complementa bien con una aplicación balanceada de fertilizantes debido a que la palma tiene altos requerimientos de nutrientes por unidad de superficie, comparada con otras oleaginosas (Romero, 1980; Vera, 2004).

Las condiciones de manejo prevalentes en las plantaciones han provocado diversos problemas de carácter fitosanitario y nutricional que afectan significativamente el desarrollo y rendimiento del cultivo y, en consecuencia, la rentabilidad de la inversión (Corrado, Martínez, 1982). Se considera que las complicaciones derivadas del manejo de la nutrición son quizá los problemas más importantes en el manejo global de la plantación.

La falta de información concreta sobre los efectos del desequilibrio de los contenidos de Ca, Mg y K en el suelo sobre el crecimiento y producción de palma, tanto en condiciones de secano como con riego suplementario, no permite que los técnicos y productores

desarrollen prácticas de manejo efectivas que logren explotar completamente el potencial de producción del cultivo de la palma en el Ecuador. Esto hace ineficiente la aplicación de fertilizantes y la utilización del riego complementario, reduciendo la rentabilidad del cultivo. Solamente estudios a largo plazo podrán determinar la real contribución del adecuado manejo de las relaciones Ca-Mg-K en el rendimiento en las regiones productoras de aceite de palma de Ecuador.

1.2. Justificación

Se justifica por la falta de información sobre la relación de contenidos de Ca, Mg y K y el efecto de riego de los en el suelo sobre el crecimiento y producción de palma, debido a la problemática es grave en el Bloque Occidental lo que hace que producción de palma en Ecuador enfrente retos que obligan a la búsqueda de formas de manejo que hagan eficiente la utilización de insumos, particularmente los fertilizantes y el riego, para hacer rentable esta actividad sin afectar el ambiente. El adecuado manejo de la nutrición y el riego permite acumular rendimientos más altos por unidad de insumos utilizados. Existe información que indica que relaciones inadecuadas de los cationes Ca, Mg y K en el suelo afectan directamente la producción de palma y evitan que los fertilizantes y el riego complementario sean utilizados por la planta para acumular el rendimiento que permite la oferta climática de las zonas donde se produce palma en Ecuador (Cevallos, et al, 2013).

La concentración de los cationes Ca, Mg y K en el suelo y en la planta dependen de las proporciones en que estos iones intercambiables se encuentren en el complejo de cambio del suelo. Por esta razón, es indispensable mantener cierta proporción en el contenido de cationes en el suelo para asegurar una buena nutrición de las plantas de palma. Idealmente, la relación Ca:Mg:K debería ser 2 :1: 0,3; la relación Ca/Mg igual a 2.0, la relación Mg/K menor a 1 y la relación Ca + Mg / K menor a 7 (León, 1998). Se ha observado que existe flexibilidad en las relaciones catiónicas, pero desviaciones mayores provocan problemas de deficiencias de cationes que afectan significativamente el rendimiento del cultivo porque simplemente el exceso de un catión inhibe la absorción de otro (Plaster, 1997).

Sin embargo, la investigación conducida hasta el momento no ha logrado determinar en forma concluyente el efecto de diferentes relaciones catiónicas en el rendimiento acumulado de cultivos de palma, sujetos a condiciones de secano y riego complementario por un periodo largo de tiempo. Información sobre el buen manejo de las relaciones catiónicas y del riego en palma contribuiría a mejorar la producción de palma en el país.

La palma africana requiere 125 mm por mes de precipitación, son suficientes para lograr las máximas producciones; esto indicaría, que zonas con 1500 mm – 2000 mm de lluvia al año, regularmente distribuidas, son deseables para el cultivo de la palma aceitera (Heartly, 1988; Salas, 2010). La evapotranspiración óptima diaria de la palma es de 5 a 6 mm y que cualquier suministro menor que este indicaría que la planta sufriría de tensión de agua (Goh, 2000). Este flujo de agua es necesario para el desarrollo vegetativo y productivo por lo que es necesario mantener niveles óptimos de humedad en el suelo durante todo el año. La época seca se presenta durante los meses de junio a diciembre en algunas zonas donde se produce palma en Ecuador y, por esta razón, debería utilizarse riego complementario para proporcionar el agua necesaria para el desarrollo normal de las plantas (Calvache, 2001; Granda, 2002).

En el manejo del riego en palma aceitera es necesario que el suministro de agua sea suficiente y oportuno para mantener la adecuada humedad en la zona donde se desarrollan las raíces (Granda, 2012; Revelo, 2002). Es innegable que existe una estrecha relación entre la nutrición y el riego en palma aceitera (Mite, Carrillo, Espinosa, 1999), sin embargo, no se conoce el efecto de la relación entre cationes en la fase de intercambio y el riego en el rendimiento del cultivo.

La falta de información concreta sobre los efectos del desequilibrio de los contenidos de Ca, Mg y K en el suelo sobre el crecimiento y producción de palma, tanto en condiciones de secano como con riego suplementario, no permite que los técnicos y productores desarrollen prácticas de manejo efectivas que logren explotar completamente el potencial de producción del cultivo de la palma en el Ecuador. Esto hace ineficiente la aplicación de fertilizantes y la utilización del riego complementario, reduciendo la rentabilidad del

cultivo. Solamente estudios a largo plazo podrán determinar la real contribución del adecuado manejo de las relaciones Ca – Mg – K en el rendimiento en las regiones productoras de aceite de palma de Ecuador.

El conocer el comportamiento de los suelos dedicados al cultivo de palma con respecto al manejo de las relaciones Ca – Mg – K será un significativo aporte para consolidar los esfuerzos para hacer uso eficiente de los fertilizantes y del riego. Para lograr esto es indispensable evaluar a largo plazo el comportamiento de diferentes relaciones catiónicas, en condiciones de presencia y ausencia de riego, en plantaciones establecidas de palma. El estudio planteado en este proyecto busca desarrollar información que permita definir esquemas de manejo de las relaciones catiónicas para lograr rendimientos altos sostenidos y rentables de aceite de palma.

1.3. Alcance

El aporte para los palmicultores servirá para determinar si el problema de amarillamiento – secamiento de la palma se debe al desbalance entre Ca, Mg y K. Los palmicultores piensan en la posibilidad de aplicar riego complementario al cultivo de palma aceitera con el fin de incrementar su rendimiento y a su vez desean mantener el balance adecuado en de cationes en el suelo. Por esa razón ANCUPA viendo la necesidad de los palmicultores ejecutó la investigación de las diferentes relaciones de calcio, magnesio y potasio, y la influencia del riego en cultivo, con un análisis integral de los datos obtenidos durante los seis años de estudio, cuyos resultados permitirán fortalecer o descartar la hipótesis que permita asegurar que el riego y un correcto balance catiónico favorecerá al cultivo (Calvache, 2005).

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto a largo plazo de la combinación de diferentes relaciones catiónicas Ca-Mg-K en la productividad de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) con y sin riego complementario.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar qué relación Ca - Mg - K en el suelo provoca la mejor respuesta en el desarrollo y producción de la palma aceitera en un periodo de 6 años.
- Evaluar la influencia del riego en el desarrollo y producción de la palma aceitera en el mismo periodo de tiempo.
- Determinar la interacción entre las relaciones de cationes y el riego.
- Analizar financieramente los tratamientos en estudio al finalizar el sexto año de evaluación.

1.5. Hipótesis

- Existe una relación Ca - Mg - K en el suelo que permite el mejor desarrollo y producción de la palma aceitera.
- La aplicación de riego complementario mejora el desarrollo y producción de la palma aceitera.
- Existe una interacción positiva entre las relaciones de cationes en el suelo y el riego que permite alcanzar rendimientos altos.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

La palma africana se desarrolla en condiciones tropicales húmedas y por lo tanto 125 mm por mes de precipitación son suficientes para lograr las máximas producciones; esto indicaría que zonas con 1500 mm a 2000 mm de lluvia al año, regularmente distribuidas, son deseables para el cultivo de la palma aceitera (Heartly, 1988; Salas, 2010). La evapotranspiración óptima diaria de la palma es de 5 a 6 mm y cualquier suministro menor indicaría que la planta sufriría de tensión de agua (Goh, 2000). Cerca del 98% del agua utilizada solamente pasa por la planta y se pierde en la atmósfera por el proceso de transpiración. Este flujo de agua es, sin embargo, necesario para el desarrollo vegetativo y productivo por lo que es necesario mantener niveles óptimos de humedad en el suelo durante todo el año. Las plantas de palma cultivadas en condiciones de lluvia escasa y poco frecuente agotan la reserva de agua del suelo y esta condición afecta el comportamiento del cultivo. La época seca se presenta durante los meses de junio a diciembre en algunas zonas donde se produce palma en Ecuador y, por esta razón, debería utilizarse riego complementario para proporcionar el agua necesaria para el desarrollo normal de las plantas (Calvache, 2001, Granda, 2002).

El riego en plantaciones de palma de aceite en Ecuador es una innovación que se ha dado en los últimos años y por lo tanto, existe poca información sobre su eficiencia, al ser una limitante en la rendimiento, en especial en los meses de julio a diciembre (Calvache, 2002). Este autor menciona además, que existe un importante incremento en la producción de racimos de fruta fresca y la reducción del amarillamiento de la planta, al existir interacción entre el riego y una fertilización balanceada.

Se estima que el efecto del riego incrementa la producción en un 11% al 15% y un déficit provocaría un decremento del 26% (Granda, 2002). Investigaciones realizadas demuestran que al incorporar 500 mm de agua en zonas que presentan déficit hídrico, alcanzan

incrementos de 14 t/ha/año (Africano, 2000). El déficit hídrico en plantaciones de palma influye en el amarillamiento-secamiento en el follaje de la planta (Rivadeneira, 1999).

La aplicación de riego en períodos secos favorece el crecimiento, ayuda a aumentar la producción de fruta fresca por hectárea y disminuye el estrés hídrico durante la época seca (Ortiz y Fernández, 2000; Corley y Tinker, 2009). De acuerdo a investigaciones realizadas por Calvache (2002), el riego incrementa la producción de 12 a 36 t/ha/año de fruta fresca cuando se aplica una lámina equivalente a 4mm/día.

Investigaciones realizadas en el CIPAL, durante cinco años en Riegos, demuestran que en el material híbrido ASD de seis años de edad se observó rendimientos anuales de 29.23 t/ha/año en parcelas con riego y 24.42 t/ha/año en parcelas sin riego, dándose una diferencia de alrededor de 5 t/ha en el año de producción (Vega, Calvache, Lalama, 2010).

Para el tercer año de evaluación, en el ensayo de Balance Catiónico, se observan rendimientos acumulados de 36.17t/ha/año en parcelas con riego y de 31.82 t/ha en parcelas sin riego, ambas balanceadas con la relación ideal (Ca:60%, Mg:30% y K:10%) y, 23.41t/ha/año en parcelas con riego y de 27.69 t/ha en parcelas sin riego, balanceadas en la relación testigo (Ca: 80%, Mg: 15% y K:5%) durante tres años de evaluación (Parra, 2010).

Para el cuarto año en la misma evaluación, se observaron rendimientos acumulados de 65.32 t/ha en parcelas con riego y de 50.35 t/ha en parcelas sin riego, las dos llevadas a la relación ideal (Ca:60%, Mg:30% y K:10%) y de 50.22 t/ha en parcelas con riego y 41.11 t/ha en parcelas sin riego, las dos llevadas a la relación testigo (Ca: 80%, Mg: 15% y K:5%) (Guerra, 2011). Existieron diferencias de 5 a 10 t/ha en la producción de racimos de fruta fresca, al comparar parcelas aplicadas riego y sin aplicar, llevadas a la relación ideal en el suelo (Ca:60%, Mg:30% y K:10%) y la relación testigo (Ca: 80%, Mg: 15% y K:5%).

2.2. Fundamentaciones

2.2.1. Requerimientos Ambientales

La palma aceitera es un cultivo perenne que requiere ciertas condiciones climáticas y edafológicas, que le permitan alcanzar su óptimo crecimiento, desarrollo y producción (Chávez y Rivadeneira, 2003). Así, ellos indican que las condiciones climáticas para el desarrollo y producción del cultivo son:

Precipitación: De 1500 a 1800 mm/año, entre 120 a 150 mm/mes.

Brillo solar: Aproximadamente 1400 horas/año, 115 horas/mes.

Temperatura: Promedio diario anual entre 24 a 26 grados centígrados.

Humedad ambiental: Promedio diario mensual 75% de humedad relativa.

Y que, además, las condiciones para el desarrollo y producción del cultivo son:

Altitud: No mayor de 500m.s.n.m.

Suelos: De textura franco-limoso a franco arcilloso.

pH: El rango adecuado para el cultivo es de 5 a 6.5.

Profundidad: no menor a 0.60 m.

2.2.2. Nutrición en Palma aceitera.

El fertilizante es el insumo de mayor costo dentro del esquema de manejo del cultivo de palma aceitera (Vera, 2004) y por esta razón se deben usar técnicas apropiadas para optimizar su eficiencia de utilización. Muchas plantaciones manejan la nutrición aplicando cantidades inadecuadas de nutrientes, sin manejo programado, lo que inevitablemente reduce las reservas de K en el suelo como consecuencia de la extracción del cultivo y otras pérdidas normales dentro del ciclo del elemento. El empobrecimiento paulatino del K en el suelo crea desbalances con otros cationes como Ca y Mg (Chinchilla, 2004).

Existen también esquemas de manejo que promueven el uso indiscriminado de altas cantidades de fertilizantes, en un afán de asegurar la producción de rendimientos altos. De igual forma, esto provoca desbalances nutricionales debido a que se inducen deficiencias ciertos elementos por la presencia de abundantes concentraciones de otros en el suelo, particularmente cationes como Ca, Mg y K (Palacios, 2003).

Una de las causas de los bajos rendimientos del bloque occidental de producción de palma del Ecuador (Quinindé - La Concordia - Santo Domingo - Quevedo) es el problema conocido como amarillamiento – secamiento de las plantas. El síntoma de este síndrome aparece primero como una clorosis de las hojas bajas que posteriormente se expande a toda la planta y que finalmente seca los tejidos de los folíolos. Esta condición reduce significativamente la producción de racimos de fruta fresca. Los síntomas se presentan todos los años con mayor o menor intensidad, pero son más intensos al final de la época seca y al inicio de la época lluviosa (Cevallos et al., 2009).

La evidencia acumulada durante años sugiere que los contenidos de Ca, Mg y K en el suelo y en los tejidos foliares de plantaciones que presentan el síndrome amarillamiento y secamiento se encuentran en desbalance de acuerdo a las normas establecidas (Cevallos et al., 2009; Laínez, 1989). Sin embargo, la evidencia no es todavía concluyente porque se considera que la falta de humedad en el suelo en la época seca del año tiene una marcada relación con la presencia del síndrome en las plantaciones de palma en Ecuador (Calvache, 2001, Mite, Carrillo, Espinosa, 1999).

2.2.2.1. Potasio

El K es el nutriente absorbido en mayor cantidad por el cultivo de palma, exportándose 94 kg de K año^{-1} en una cosecha de 25 tha^{-1} de fruta (Calvache, 1999), sin embargo, la absorción total de K por la planta de palma (material vegetativo, hojas podadas, racimos inflorescencias) es de alrededor de $250 \text{ kg K año}^{-1}$ (Fairhurst, Caliman, Hardter y Witt, 2005). Este nutriente juega un papel fundamental en el metabolismo de las plantas ya que es necesario para casi todas las funciones metabólicas como fotosíntesis, respiración,

síntesis de las proteínas, metabolismo del nitrógeno y translocación de los hidratos de carbono. En la palma aceitera, la presencia de K evita abortos y le confiere a la planta cierta resistencia a enfermedades, además, hace que los tejidos sean turgentes lo que hace que ésta resista mejor condiciones de sequía. Por su influencia en el transporte de los productos de la fotosíntesis por el floema, hace que los racimos de plantas bien nutridas con K, tengan mayor peso (Fairhurst, et al., 2005; Foster, 2012).

En cuanto se refiere al papel fundamental del potasio en la fisiología vegetal, se reconoce su importancia no únicamente por su contenido en los tejidos de la planta, sino en relación a sus funciones fisiológicas y bioquímicas. Participa en el crecimiento de los tejidos meristemáticos y se destaca en el control del agua en la planta. Se demuestra el claro efecto del K en la tasa de asimilación de CO₂ y de la activación de varios sistemas enzimáticos (Yamada, Terry y Espinoza, 2005).

Los mismos autores mencionan el efecto sinérgico de la interacción positiva entre el N y el K mejorando intensamente la producción de fruta, en contraste al ser aplicados de forma individual afecta negativamente la producción de fruta y de la producción de materia seca de la parte vegetativa de las palmas.

En la hoja existe un estricto antagonismo entre el potasio puede presentar antagonismo con el calcio y el magnesio, o sea, una deficiencia de potasio se refleja en un exceso de calcio o magnesio y un exceso de potasio en una deficiencia de calcio o magnesio. La proporción alta de calcio deprime la absorción de magnesio y de potasio, de tal forma que los suelos calizos requieren dosis fuertes de fertilizantes potásicos (Muñoz, 1978; Owen 1993).

El K activa varias enzimas que catalizan las reacciones bioquímicas de las síntesis de almidones, proteínas y grasas. Juega un papel central en la osmoregulación de las plantas (extensión de las células y regulación de los estomas) y otras funciones relacionadas con la adaptación al estrés por agua (Fairhurst et al., 2005).

2.2.2.2. Calcio

Según Peter (2005), las funciones del calcio relacionadas con el desarrollo del meristemo a nivel celular son:

- Facilita la división y alargamiento de las células del meristemo.
- Consolida las membranas celulares del meristemo.
- Regula la permeabilidad de las membranas de la célula.
- Actúa como barreras físicas.
- Concentraciones de Ca^{2+} es siempre alta en las vacuolas y baja en el citoplasma. La salud celular y de la planta entera depende del surtido de calcio desde las vacuolas como repositorias. El Calcio alto en el citoplasma es tóxico porque siempre precipita al fósforo.
- La vacuola es una etapa crítica en la demanda por calcio para la formación y crecimiento de las células del meristemo.

El Ca es un componente estructural de los pectatos que se encuentran en las laminillas medias de las paredes celulares. Es esencial para la extensión y división de la célula, para la estabilización de la membrana, mantenimiento del equilibrio catión: anión en las células, y para la osmoregulación. El Ca está mencionado como mensajero en la transferencia de señales ambientales (causadas por temperaturas altas o bajas) o por impacto físico de lluvia y el viento (Fairhurst y Hardter, 2012). La absorción del Ca por palmas adultas es de alrededor de $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, de los cuales solo unos $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ son extraídos en RFF. La dinámica del Ca en el suelo está gobernada por los fenómenos del intercambio catiónico, al igual que los otros cationes. Generalmente es el catión dominante en el suelo, aún a valores de pH bajos y ocupa normalmente el 70% o más de los sitios en el complejo de intercambio (INPOFOS, 1997, Van Raij, 2011). A pesar de que se han documentado concentraciones bajas de Ca en varios suelos utilizados para producir palma ($< 3,0 \text{ cmol kg}^{-1}$ de Ca intercambiable y $< 20\%$ de saturación de Ca), hasta el momento no se han reportado deficiencias visibles de este elemento en palma.

2.2.2.3. Magnesio

El Mg es el átomo central de la molécula de clorofila, por lo tanto, está involucrado activamente en la fotosíntesis, (Thomson y Troeh, 1982). Esta se inmoviliza cuando en el follaje del Mg se encuentra del 6 al 25%. Esta proporción aumenta linealmente con el nivel de deficiencia de Mg y puede alcanzar o exceder el 35%. La mayor parte del Mg está involucrado en el balance entre cationes y aniones, manteniendo el pH en el interior de la célula (Dubos, Caliman, Corrado, Quencez, Tailliez, 2000).

Además, el Mg se combina con los fosfatos para trasladarse como fosfato de magnesio a los sitios donde la planta utiliza el fósforo. Un rendimiento de 25 toneladas de racimo de fruta fresca por hectárea ($t \text{ RFF ha}^{-1}$) extrae del campo alrededor de 120 kg de Mg que deben ser restituidos al suelo para mantener la fertilidad y el balance (Fairhurst y Rankine, 1998). Las deficiencias de Mg se presentan en todas las regiones donde se cultiva palma aceitera, sin embargo, el problema es más frecuente en suelos ácidos y en suelos de textura arcillosa (León, 1998).

El magnesio, mantiene el equilibrio iónico y el pH del citoplasma; actúa como activador enzimático en el proceso de fosforilación y en la síntesis de proteínas y ARN (Ramírez, 2011).

En las células vegetales, el magnesio tiene un papel específico en la actividad de enzimas involucradas en la respiración, fotosíntesis, síntesis de ADN y ARN, al ser parte de la molécula de clorofila (Taiz y Zeiger, 2004).

La eficiente síntesis de aceite en los racimos de palma aceitera está relacionada con el adecuado suplemento de Mg (Fairhurst et al., 2005).

El Magnesio tiene efectos muy específicos en la protección de la planta contra la toxicidad del Al (Cakmak y Yazini, 2010). La absorción de Mg es muy dependiente de las características del suelo de cada lugar, tipo y condición, además, de la saturación en el suelo de diferentes cationes como Ca y K creando competencia en la disponibilidad y absorción. Por ejemplo el uso muy frecuente de cloruro de potasio o sulfato tiene un efecto depresivo sobre los contenidos de magnesio (Dubos, et al., 2000).

La deficiencia de Mg en las plantas de palma aceitera, se presenta con hojas anaranjadas en los folíolos viejos. Al principio aparecen parches de color verde olivo en las puntas de los folíolos de hojas viejas, en especial de aquellos folíolos expuestos al sol. A medida que se incrementa la severidad de la deficiencia, las hojas de color verde olivo pasan a una tonalidad amarillo claro y finalmente se secan (Rankine, Canpontex, Fairhurst, 1998).

2.2.3. Relaciones catiónicas y bases intercambiables

No debe existir interpretación independiente de cationes en forma única. Se debe interpretarlas de forma independiente y en conjunto. Ya que presentan relaciones, dependiendo del predominio de un catión sobre otro, ocasionan antagonismos y sinergismos, principalmente en las relaciones Ca/Mg, Mg/K y Ca+Mg/K. De igual forma, la relación Ca-Mg y K, ante la presencia del catión NH_4 los descoloca, tornándolos muy precarios en el metabolismo vegetal (Padilla, 2001).

2.2.4. El agua en la palma aceitera

Un déficit hídrico en la palma de aceite constituye uno de los factores limitantes en su producción, ya que al disminuir la cantidad de agua que extrae del suelo, disminuye la tasa fotosintética y fijación por parte de las plantas (Acosta, 2000).

La deficiencia de agua reduce la actividad fotosintética y como consecuencia la disminución en la producción, además de tener un afecto en el contenido de aceite en la pulpa del fruto, reduciéndolo del 30% al 40% del contenido total (Granda, 2002).

Entre el 90% y 95% del consumo diario del agua es destinada al control de su temperatura interna. Sin embargo, la producción de carbohidratos no se podría llevar a cabo sin la participación coordinada de la trilogía agua, anhídrido carbónico y radiación solar (Mejía, 2000).

En épocas secas la planta reacciona con acumulación de flechas, es decir, no existe apertura de folíolos como mecanismo de defensa de la planta al reducir la evapotranspiración con el cierre de estomas, aumentando la tasa de aborto en plantas jóvenes (llega al 30%) y en plantas adultas (del 5% al 15%) (Granda, 2002). El mismo autor menciona que al existir el cierre de estomas se reduce la actividad fotosintética. Al existir un retraso en la formación de la hoja de igual forma se retrasa la formación del fruto, afectando la diferenciación sexual y estimulando la formación de inflorescencias masculinas, que reflejan en las bajas producciones.

Los cambios de temperatura influyen sobre las cantidades relativas de grasas y carbohidratos contenidos en los diferentes órganos de la planta (Cayón, 2008).

Cayón (1996), menciona que la palma de aceite presenta insuficiencia de agua cuando:

- Existe escases de agua en el suelo.
- El agua no está disponible debido a la tensión elevada (mayor a 0.5 atm).
- El agua disponible del suelo tiene presión osmótica igual que la raíz, como consecuencia de una concentración elevada de solutos.
- Las raíces tiene obstáculos como capas de suelo muy densas que impiden su penetración en el mismo, en busca de humedad.
- Las raíces son atacadas por parásitos, como nemátodos o *Sagalassa*.

- Las raíces son perjudicadas por anaerobismo en el suelo, ya sea por encharcamiento o compactación.

Cuando el proceso de transpiración excede la capacidad de absorción de agua de las raíces, se hace evidente el estrés fisiológico de naturaleza hídrica (Revelo, 2002).

Los requerimientos de agua en palma de aceite no son constantes ni únicos, por lo tanto para determinar estos requerimientos se deben tomar en cuenta aspectos como: capacidad de almacenamiento del suelo en la zona de raíces, la disponibilidad de agua al alcance de las palmas y los requerimientos de agua para los procesos fisiológicos físicos (Granda, 1996).

2.2.5. Producción potencial de la palma de aceite y su relación con el riego

Álvarez, Silva, J, Garzón, (2006) mencionan que uno de los principales problemas asociados a las bajas productividades en el cultivo de palma de aceite, están relacionados con niveles inadecuados de humedad en el suelo (exceso o déficit) por períodos prolongados.

Según Naandanjan (2011), los cambios climáticos cada vez presentan períodos más largos sin lluvias. A pesar de que la palma aceitera crece en forma natural en climas tropicales, su productividad se ve afectada. El potencial de rendimiento de la palma aceitera se ve reducido cuando las palmas están expuestas a condiciones de estrés.

El mismo autor anterior, menciona que, la baja humedad en el suelo, es la condición más común de estrés en la palma aceitera. Los períodos más críticos para la palma aceitera son: 24 meses, 18 meses y 6 meses antes de la maduración de los racimos de frutos. Veinte y cuatro meses antes de la maduración de los frutos es cuando se produce la diferenciación del sexo de las flores. Palmas expuestas a estas condiciones presentan dieciocho meses

antes de la maduración de los racimos abortos florales y seis meses antes de la maduración de los frutos tiempo en el cual se realiza la polinización, menor número de inflorescencias femeninas polinizadas por ende menor fructificación de racimos.

Se ha demostrado que el riego durante los períodos de sequía aumenta los rendimientos de la palma de aceite, debiéndose estos aumentos predominantemente a cambios en el número de racimos antes que en el peso medio del racimo (Corley y Tinker 2009).

Mite et. al. (1999), encontraron que la adición de riego durante la época seca generó incrementos en el rendimiento en el orden de cinco toneladas de fruta por hectárea año.

2.2.6. Sistemas de riego y su importancia.

Existen muchas alternativas técnicas para mejorar el uso del agua en los sistemas de riego, una de ellas es la implementación de metodologías para determinar las fechas y cantidades de riego, (D. Mundo et. al., 2002).

Los métodos de balance de agua permiten estimar los cambios de humedad del suelo de manera indirecta, considerando lo que se evapotranspira, llueve y se aporta con el agua de riego, que aplicado en el momento oportuno y en las cantidad necesaria permite no sólo ahorrar agua, sino además evita el decremento en el rendimiento de los cultivos (D. Mundo, Martínez, 2002).

Se ha demostrado que el riego durante los períodos de sequía aumentan los rendimientos de la palma de aceite. Los aumentos se deben predominantemente a cambios en el número de racimos y no a su peso (Corley y Tinker, 2009).

Castañón (2008), citado por Camacho (2011), menciona que las prácticas de irrigación tienen influencia directa en la producción y la calidad de los cultivos, es decir; el objetivo

principal del riego es el de suministrar la cantidad de agua apropiada en el momento adecuado para mantener o mejorar la producción. Es importante que no todos los sistemas de irrigación pueden cumplir con el objetivo planteado, sin embargo, sobre la base del entendimiento del proceso fotosintético y de las relaciones agua-planta-atmósfera, se pueda esperar que los sistemas de riego estén en capacidad de mantener una baja tensión de humedad en el suelo, teniendo en cuenta los siguientes factores, requerimientos de agua del cultivo, capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, en la profundidad de exploración radicular y disponibilidad oportuna y sin limitación de agua.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Sitio de estudio

3.1.1. Localización¹

La presente investigación se desarrolló en el Centro de Investigaciones de Palma Aceitera (CIPAL), perteneciente a la Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera (ANCUPA) ubicado en:

Provincia: Santo Domingo de los Tsáchilas

Cantón: La Concordia

Sector: km37½ vía Sto. Domingo de los Tsáchilas -Quinindé

Altitud: 260 m.s.n.m.

Latitud: 0°02'29''S

Longitud¹: 79°24'54''O

Inicio del trabajo de investigación: Julio 2011

Finalización del trabajo de investigación: Julio 2012

3.1.2. Características Climáticas²:

Temperatura promedio: 24.2 °C

Zona de vida: Bosque Húmedo Tropical (bh-t)

Heliofanía: 936 h/luz/año

Humedad relativa: 86%

Precipitación anual (julio 2011-junio 2012): 1082.5mm/año

Nubosidad: 7/8

¹FUENTE: Estación Meteorológica del CIPAL

²FUENTE: INAMHI Estación Santo Domingo del Instituto Nacional de Investigación Agropecuario (INIAP).

3. 1.3. Características Edáficas³:

Orden: Andisoles

Origen: Cenizas volcánicas

Topografía: Ligeramente ondulado

Contenido de materia orgánica: 6.02% (alto)

pH: 5.0

Conductividad eléctrica: 0.45 mmhos/cm (bajo)

Textura: Franco limoso

3.2. Técnicas , procedimientos, instrumentos y recursos

- Material genético: Híbrido intra-específico ASD (DELI X GHANA 648), plantas de 8 años de edad.
- Lisímetros MC
- Sistema de riego
- Tensiómetros (Modelo IRROMETTER a 20 cm de profundidad)

3.3. Factores, niveles, tratamientos, diseño experimental y variables en estudio.

3.3.1. Factores y niveles.

Se evaluaron tres factores:

Riego (a):

- a₁: Con riego (1,75 mm hora⁻¹) (Ver 4.3.4. Sistema de riego)
- a₂: Sin riego

³FUENTE: INIAPEstación “Pichilingue”.LaboratoriodeSuelos.2012.

Relaciones Catiónicas (b):

- b₁: Ca:60%, Mg:30% y K:10% (Ideal) (León, 1998)
- b₂: Ca:70%, Mg:20% y K:10%
- b₃: Ca:80%, Mg:15% y K:5% (CIPAL). Relación que se tiene en los suelos de La Concordia.

Año de estudio:

- c₁: Año 1 (julio 2006 – junio 2007)
- c₂: Año 2 (julio 2007 – junio 2008)
- c₃: Año 3 (julio 2008 – junio 2009)
- c₄: Año 4 (julio 2009 – junio 2010)
- c₅: Año 5 (julio 2010 – junio 2011)
- c₆: Año 6 (julio 2011 – junio 2012)

En este trabajo se registró y analizó la información obtenida en el sexto año (Julio 2011 – Junio 2012), además se analizó la información de los cinco años anteriores (2006 – 2011) de Cevallos (2008), Ayala (2010), Parra J (2010), Guerra (2011) y Guañuna (2012).

3.3.2. Tratamientos.

Los tratamientos fueron combinaciones de diferentes relaciones catiónicas y dos formas de suplemento de agua, secano y riego complementario. Una descripción de los tratamientos se presenta en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Tratamientos a evaluarse en el experimento.

Tratamiento	Descripción
T1	Riego + Ca: 60%, Mg: 30% y K: 10%
T2	Riego + Ca: 70%, Mg: 20% y K: 10%
T3	Riego + Ca: 80%, Mg: 15% y K: 5%
T4	Sin Riego + Ca: 60%, Mg: 30% y K: 10%
T5	Sin Riego + Ca: 70%, Mg: 20% y K: 10%
T6	Sin Riego + Ca: 80%, Mg: 15% y K: 5%

Fuente y Elaboración: Emma Álvarez/2014

3.3.3. Diseño experimental y unidad experimental

Se utilizó para el año seis, un diseño de parcela dividida con tres repeticiones, donde el factor riego se ubicó en la parcela grande y el factor relaciones de Ca, Mg y K en la subparcela (Tabla 3.2).

La información combinada de todos los años se analizó utilizando un análisis de medidas repetidas en parcela dividida (Tabla 3.3) (Gómez y Gómez, 1984). Para la separación de medias se utilizó la prueba de Tukey al 5%.

Tabla 3.2. Descripción del análisis de variancia (ADEVA) del experimento para el sexto año.

Fuente de Variación	Grados de libertad	
Total	$rab - 1$	17
Repeticiones	$r - 1$	2
Riego	$a - 1$	1
Error (a)	$(r - 1)(a - 1)$	2
Relaciones catiónicas	$b - 1$	2
Riego x Relaciones	$(a - 1)(b - a)$	2
Error (b)	$a (r - 1)(b - 1)$	8

Fuente y Elaboración: Emma Álvarez/2014

Tabla 3.3. Descripción del análisis de variancia (ADEVA) para los seis años del experimento.

Fuentes de Variación	Grados de libertad	
Total	$rabc-1$	107
Repetición	$r-1$	2
Riego	$a-1$	1
Error (a)	$(a-1)(r-1)$	2
Relaciones Catiónicas	$b-1$	2
Riego x Relaciones Catiónicas	$(a-1)(b-1)$	2
Error (b)	$a(b-1)(r-1)$	10
Años	$c-1$	5
Riego x Años	$(a-1)(c-1)$	5
Relaciones Catiónicas x Años	$(b-1)(c-1)$	10
Riego x Relaciones Catiónicas x Años	$(a-1)(b-1)(c-1)$	10
Error (c)	$ab(r-1)(c-1)$	58

Fuente y Elaboración: Emma Álvarez/2014

La unidad experimental estuvo conformada de 24 plantas por cada relación, mientras que la parcela neta fue de ocho plantas (Anexo 1). El área total del experimento, de la parcela grande y de la subparcela se indica a continuación:

Área total del experimento: 30209.76 m² (216.0 x 186.49 m)

Área total de la parcela grande 15104.88 m²

Área total de la subparcela: 1678.32 m² (54 x 31.2m)

Forma de la parcela: Rectangular

Parcela grande: 24 plantas

Parcela pequeña: 8 plantas

Repeticiones: 3

3.3.4. Variables de estudio

Diámetro de la base del estípite

Para la evaluación de esta variable se utilizó un calibrador metálico, el cual se colocó a 10cm del nivel del suelo evitando colocarlo en las bases peciolares que distorsionan las medidas. Las evaluaciones fueron realizadas a los seis y doce meses en cada una de las ocho plantas y las medidas obtenidas se expresaron en centímetros. Usando la metodología usada en tesis anteriores desarrolladas en ANCUPA-CIPAL. (Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012).

Altura de planta

Se registró la altura del estípite mediante el flexómetro, que se colocó a nivel del suelo hasta la altura en la que las hojas 2 y 3 forman un ángulo. La evaluación se la realizó a los seis y doce meses en cada una de las ocho plantas, y las medidas obtenidas se las expresó en centímetros. Usando la metodología usada en tesis anteriores desarrolladas en ANCUPA-CIPAL. (Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012).

Emisión foliar

Se evaluó utilizando pintura indeleble con la que se pintó el pecíolo de la hoja número uno de las ocho plantas a los seis y doce meses en cada una. Se contabilizó el número de hojas que emitió cada planta en ese período, y los valores obtenidos se los expresó en hoja/mes. Usando la metodología usada en tesis anteriores desarrolladas en ANCUPA-CIPAL. (Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012).

Diámetro de la corona foliar

Se tomaron los extremos de las dos hojas más sobresalientes ubicadas en lugares opuestos. Se tomó el diámetro del estípite con un flexómetro pasando por la parte central (flecha) de la planta. La evaluación se realizó a los seis y doce meses en cada una de las ocho plantas y

las medidas obtenidas fueron expresadas en metros. Usando la metodología usada en tesis anteriores desarrolladas en ANCUPA-CIPAL. (Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012).

Área foliar

Se tomó los seis folíolos centrales de cada lado de la hoja 17 y con la ayuda de una cinta métrica se midió longitud y ancho de cada folíolo. Con estos datos se obtuvo un promedio, al que se lo multiplicó por el número de folíolos totales de la misma hoja, medidas que fueron expresadas en metros. Usando la metodología usada en tesis anteriores desarrolladas en ANCUPA-CIPAL. (Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012).

El resultado se multiplicó por el número de hojas de la misma planta y este último valor se multiplicó por el factor 0.55, que según Corley (1973), es el apropiado para palmas.

$$\text{Area Foliar (m}^2\text{)} = K F (L A)$$

Donde:

K = Constante de 0.55.

F = Número de folíolos por hoja (hoja 17 en plantas de mayores a 4 años).

L = Promedio de la longitud de 6 folíolos ubicados en la parte central de la hoja 17.

A = Promedio del ancho de los 6 folíolos de los cuales se tomó la longitud

Luego de aplicar la fórmula anteriormente indicada, el resultado de ésta se multiplicó por el número total de hojas (se estableció el número de hojas en todas las plantas y se consideró el promedio). Una vez obtenida la variable de área foliar se multiplicó por el porcentaje del área sana del follaje. Se evaluó al inicio y a los doce meses.

Producción de la planta

La producción de la planta se evaluó cada 10 días durante todo el año de ejecución del ensayo, basándose en el número, peso total y peso promedio de racimos por planta y por tratamiento. Se expresó en kilogramos y en toneladas por hectárea. Se evaluaron ocho plantas por unidad experimental. Usando la metodología usada en tesis anteriores desarrolladas en ANCUPA-CIPAL. (Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012).

Tasa de extracción de aceite

Se colectaron 200g de frutos de un racimo que presente el promedio de las características fenológicas de los racimos de cada unidad experimental y en esta muestra se determinó la tasa de extracción de aceite por parcela y luego se proyectó a $t\ ha^{-1}$. Esta variable se evaluó en la época lluviosa (enero-junio).

Análisis de suelos

Este análisis se realizó al inicio y a los 12 meses del ensayo. Se tomaron submuestras a diferentes profundidades del suelo (0cm-5cm; 5cm-10cm; 5cm -10cm; 10cm -15cm; 15-20 cm) en cada una de las 24 unidades experimentales y se envió al Laboratorio de Suelos de la Estación Experimental “Pichilingue” (INIAP) para su análisis físico y químico.

Análisis foliar

El análisis foliar se realizó al inicio y a los 12 meses del ensayo. Se tomaron cuatro folíolos de la parte media de la hoja usando la metodología de Fairhurst (2005), en cada una de las 24 unidades experimentales.

Posteriormente, se realizó el procesamiento de limpieza y secado de las muestras y se envió al Laboratorio de Suelos de la Estación Experimental “Pichilingue” (INIAP) para su análisis físico y químico.

3.3.5. Análisis financiero

Se determinaron los costos operacionales de los diferentes tratamientos del ensayo, y se procedió a calcular el beneficio costo (B/C). Usando la metodología usada en tesis anteriores desarrolladas en ANCUPA-CIPAL. (Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012).

3.4. Manejo del experimento

3.4.1. Material de siembra

Se utilizaron 432 plantas, correspondientes al material ASD (Deli x Ghana 648), de cinco años de edad.

Sus características fueron:

- Crecimiento del tronco: Moderado (60-70 cm/año)
- Racimo: Mediano (13-15 kg.)
- Fruto: Mediano (9-11 g)
- Aceite en el racimo: Excelente (mayor a 28%)
- Tolerancia a la sequía: Moderada a alta
- Tolerancia a bajas temperaturas: Moderada
- Tolerancia a baja luminosidad: Alta

(Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012).

3.4.2. Fertilizantes utilizados

La fertilización se realizó en los meses de marzo a julio del 2011. Las cantidades colocadas de las fuente de Ca, Mg y K fueron establecidos con base en cálculos manejando relaciones catiónicas. Según la metodología aplicada en los cuatro años de ejecución recomendada por Calvache (2005).

Para la fertilización con los nutrientes restantes se emplearon los fertilizantes que se manejan en el CIPAL.

3.4.3. Sistema de riego

El sistema de riego constó de 47 aspersores por hectárea (Rotor Nelson R10 Turbo). El caudal utilizado fue de 6 litros/min/aspersor. La distancia entre aspersores fue de 13.5m y 15.6m entre líneas. La lámina aplicada por cada aspersor fue de 1.75 mm/hora (Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012).

El sistema constó de un motor a diesel de 45 HP de potencia, una bomba de succión y toda una red de tuberías primarias, secundarias y terciarias, así como de elevadores (70 cm de altura). Cada repetición constó de una llave la cual permitió dar riego de manera independiente en cada una. Además, tuvo una válvula de aire, la cual prevenía roturas por exceso de presión; pero por cuestiones técnicas (cambio total de aspersores y reparación de tuberías rotas) no se aplicó riego durante el año de evaluación junio 2010 – julio 2011 (Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012).

3.4.4. Láminas de riego aplicadas

Las láminas de riego planificadas en cada repetición fueron las mismas (Anexo 12). Se consideraron las medidas diarias proporcionadas por los tensiómetros, los lisímetros y el tanque MC.

En el ensayo se ubicaron tres tensiómetros a una profundidad de 20cm, dos de los cuales estuvieron localizados en las parcelas con riego, y uno en las parcelas sin riego. Los lisímetros “MC” fueron ubicados en la parte sin riego.

Calvache (2001), describe las siguientes fórmulas para la aplicación de las láminas de riego:

$$\mathbf{LN = Etc = EV MC \times Kc}$$

Donde:

- LN = Lámina neta
 Etc = Evapotranspiración relativa del cultivo.
 EV MC = Coeficiente del Lisímetro MC.
 Kc = Coeficiente del cultivo.

(Martínez, 2006; Lema, 2008; Reinoso, 2009; Vega, 2010; Reyes, 2012)

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

- LB = Lámina bruta de riego
 LN = Lámina neta
 Ea = Eficiencia de aplicación (75%)

(Martínez, 2006; Lema, 2008; Reinoso, 2009; Vega, 2010; Reyes, 2012)

Para el cálculo del tiempo de riego se usó la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Q \times T = A \times LB}$$

Donde:

- LB = Lámina bruta de riego (litro/m²)
 A = Área de riego (m²)
 T = Tiempo de riego
 Q = Caudal (0.1 litro/s)

El coeficiente del cultivo (Kc) utilizado en la presente investigación fue de 1.25 de acuerdo a Calvache (2009).

(Martínez, 2006; Lema, 2008; Reinoso, 2009; Vega, 2010; Reyes, 2012).

3.4.5. Manejo agronómico del cultivo

Las labores culturales se realizaron según las necesidades del cultivo y siguiendo el programa de manejo del Centro de Investigaciones de Palma Aceitera (CIPAL).

Las labores fueron: chapias, coronas químicas o manuales, caminos de cosecha, coronas a bases de los aspersores, limpieza de estípites, mantenimiento de la estación de bomba, controles fitosanitarios para el Barrenador de la raíz (*Sagalassa valida*), Cochinilla (*Dismococcus brevipis*), Escama roja (*Neolecanium silverae*), y Gusano chato (*Alurnus humeralis*).

Como labores previas a la fertilización se realizaron cateos de raíces. Estos fueron realizados para conocer el estado de las raíces y la zona de mayor acumulación de ellas. Establecida esta última se procedió a la fertilización, enfocando el fertilizante a la zona identificada de 0.5 a 2 m del estípite de acuerdo al siguiente plan:

Tabla 3.4. Plan de Fertilización

FERTILIZANTE		kg/planta	Riqueza (%)
Óxido de Magnesio	t1	2,5	30 MgO
	t2	2,2	30 MgO
	t3	2,1	30 MgO
	Plantas borde	2,5	30 MgO
Muriato de potasio	t1	1,5	60 K ₂ O
	t3	0,5	60 K ₂ O
	Plantas borde	3,5	60 K ₂ O
D.A.P		1,2	18 N - 46 P ₂ O ₅
Nitrato de Amonio		2,5	34 N
Ácido Bórico		0,2	99.7 H ₃ BO ₃
Azufre elemental		0,35	90 S

Fuente: Alvarez, 2012

Los chequeos fitosanitarios se realizaron cada 15 días, seguido del respectivo control, ya sea aplicando productos químicos o biocontroladores dependiendo del tipo de plaga. Además, se eliminaron plantas que presentaban Anillo Rojo (*Bursaphelenchus cocophilus*) o Pudrición del cogollo (PC). También se hizo el respectivo control de la población de Gualpa (*Rinchophorus palmarum*) realizando capturas y conteos dos veces por mes.

Se realizaron cateos con el fin de identificar la zona de mayor acumulación de raíces, peso fresco y peso seco. Para lo cual, se seleccionó una planta al azar por cada una de las unidades experimentales. En dicha planta se realizaron dos cateos, uno en dirección al camino de cosecha y la otra en dirección contraria, estableciendo en porcentajes las raíces primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias. Además, se extrajeron las raíces en una calicata a una distancia de un metro del estípite, para llevarlos a procesarlos y obtener peso fresco y seco.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la primera parte se reportan los resultados del sexto año de investigación.

4.1. Variables agronómicas

Para altura de planta, emisión foliar, diámetro de la corona foliar, área foliar, producción de la planta y tasa de extracción de aceite en el sexto año de estudio, no se presentaron diferencias estadísticas para ninguna fuente de variación. Los coeficientes de variación se presentaron entre 2.32% a 23.49% (Anexo 2).

4.2. Ca (meq/100 g suelo) a diferentes profundidades del suelo en el sexto año de investigación

Los análisis de variancia para los contenidos de calcio a las profundidades de: 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 15 cm, 15 a 20 cm y 0 a 20 cm, no mostraron diferencias estadísticas significativas para ninguna fuente de variación, excepto para la interacción riego x relaciones catiónicas a las profundidades 0 a 5 cm y de 0 a 20 cm donde se presentaron diferencias altamente significativas y a la profundidad de 15 a 20 donde fueron significativas. Los coeficientes de variación se mostraron en un rango de 15.15 a 36.04%. (Anexo 3).

Los promedios y prueba de Tukey 5% para la interacción riego x relaciones catiónicas en Ca(meq/100 g suelo) a las profundidades de 0 a 5cm, 15 a 20 cm y de 0 a 20 cm de profundidad, Tabla 4.1, se observa dos rangos de significancia para las tres profundidades, siendo todos los tratamientos iguales estadísticamente (rango a) con excepción del tratamiento 1 (Con Riego x Ca:60%, Mg:30% y K:10%) con 7.00; 2.33 y 3.83meq/100 g suelo, a esas tres profundidades, respectivamente.

A medida que aumento la saturación de Ca a diferentes profundidades del suelo, el contenido aumentó al aplicar riego en las de 0-5; 15-20 y de 0-20cm de profundidad en

aplicación de riego. Cuando no se aplicó riego, el Ca no se movió en el suelo. Estos resultados sugieren que el riego infiltró el Ca en capas más profundas a medida de que se aumentó la dosis en la relación.

Tabla 4.1. Promedios para interacción riego (a) x relaciones catiónicas (b) y prueba de Tukey al 5% para la variable Ca (meq/100 g suelo) a diferente profundidad, en el sexto año de investigación.

TRATAMIENTOS	Ca (meq/100 g suelo)		
	0-5 cm	15-20 cm	0-20 cm
Con riego + Ca: 60%, Mg: 30% y K: 10%	7.00 b	2.33 b	3.83 b
Con riego + Ca: 70%, Mg: 20% y K: 10%	8.33 ab	2.67 ab	4.75 ab
Con riego + Ca: 80%, Mg: 15% y K: 5%	17.00 a	4.00 a	7.92 a
Sin riego + Ca: 60%, Mg: 30% y K: 10%	10.67 ab	3.33 ab	6.00 ab
Sin riego + Ca: 70%, Mg: 20% y K: 10%	14.67 ab	3.33 ab	7.42 ab
Sin riego + Ca: 80%, Mg: 15% y K: 5%	8.33 ab	3.00 ab	4.42 ab

§= Promedios seguidos de la misma letra, dentro de cada columna, son iguales estadísticamente.

Fuente: Alvarez E, 2012; Elaborado por: Emma Alvarez/2014

4.3. Mg (meq/100 g suelo) a diferentes profundidades del suelo en el sexto año de investigación.

Los análisis de variancia para los contenidos de magnesio a las profundidades de: 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 15 cm, 15 a 20 cm y 0 a 20 cm, no mostraron diferencias estadísticas significativas para ninguna fuente de variación, excepto para relaciones catiónicas a las profundidades 15 a 20 cm y de 0 a 20 cm donde se presentaron diferencias altamente significativas y diferencias significativas a la profundidad de 0 a 5 cm; además, se observó significancia estadística para la interacción a la profundidad 15 a 20 cm. Los coeficientes de variación se presentaron entre 17.24% a 69.96% (Anexo 4).

Los promedios y prueba de Tukey 5% para relaciones catiónicas para Mg (meq/100 g suelo) a las profundidades de, 0 a 5 cm, 15 a 20 cm y 0 a 20 cm de profundidad se

muestran en la Tabla 4.2, observándose que la relación Ca: 60%, Mg: 30% y K: 10% presentó los contenidos más altos a las tres profundidades.

A medida que disminuyó la concentración de Mg a diferentes profundidades en el suelo, el contenido disminuyó independientemente de la aplicación de riego, en las profundidades de 0-5; 15-20 y 0-20 cm de profundidad. Este comportamiento fue similar al reportado por Laínez (1989).

Tabla 4.2. Promedios para relaciones catiónicas (b) y prueba de Tukey al 5% para la variable Mg (meq/100 g suelo) a diferente profundidad, en el sexto año de investigación.

TRATAMIENTOS	Mg(meq/100 g suelo)		
	0-5 cm	15-20 cm	0-20 cm
Ca: 60%, Mg: 30% y K: 10%	4,38 a	1,07 a	2,10 a
Ca: 70%, Mg: 20% y K: 10%	3,73 ab	0,78 b	1,82 a
Ca: 80%, Mg: 15% y K: 5%	1,35 b	0,43 c	0,78 b

§= Promedios seguidos de la misma letra, dentro de cada columna, son iguales estadísticamente.

Fuente: Alvarez E, 2012; Elaborado por: Emma Alvarez/2014

Los promedios y prueba de Tukey 5% para la interacción riego x relaciones catiónicas en Mg (meq/100 g suelo) a 15cm – 20cm de profundidad, Tabla 4.3, se observan dos rangos de significancia, la relación Ca: 60%, Mg: 30% y K: 10% presentó los más altos contenidos tanto con riego como sin riego; y la relación Ca: 70%, Mg: 20% y K: 10% también presentó alto contenido pero sólo sin riego.

A medida que disminuyó la concentración de Mg a diferentes profundidades en el suelo y con la influencia de la aplicación de riego, en la profundidad de 15-20 cm de profundidad. Cuando se aplicó la relación Ca:60%, Mg:30% y K:10%, se obtuvo el mayor contenido de magnesio en el suelo. Estos resultados sugieren que es la más adecuada con respecto a magnesio. Este comportamiento fue similar al reportado por Laínez (1989).

Tabla 4.3. Promedios para interacción riego (a) x relaciones catiónicas (b) y prueba de Tukey al 5% para la variable Mg (meq/100 g suelo) a diferente profundidad, en el sexto año de investigación.

TRATAMIENTOS	Mg, 15-20 cm (meq/100 g suelo)	
	Con riego	Sin riego
Ca: 60%, Mg: 30% y K: 10%	1.10 a [§]	1.03 a
Ca: 70%, Mg: 20% y K: 10%	0.57 b	1.00 a
Ca: 80%, Mg: 15% y K: 5%	0.43 b	0.43 b

[§]= Promedios seguidos de la misma letra, son iguales estadísticamente.

Fuente: Alvarez E, 2012; Elaborado por: Emma Alvarez/2014

4.4. K (meq/100 g suelo) a diferentes profundidades del suelo en el sexto año de investigación.

Los análisis de variancia para los contenidos de potasio a las profundidades de: 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 15 cm, 15 a 20 cm y 0 a 20 cm, sólo mostraron diferencias estadísticas altamente significativas para relaciones catiónicas a las profundidades 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 15 cm y 15 a 20 cm y de 0 a 20 cm. Los coeficientes de variación se presentaron entre 25.65% a 38.98% (Anexo 5).

Los promedios y prueba de Tukey 5% para relaciones catiónicas en K (meq/100 g suelo) a las profundidades de: 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 15 cm, 15 a 20 cm y 0 a 20 cm se indican en la Tabla 4.4., observándose que la relación Ca: 60%, Mg: 30% y K: 10% presentó los contenidos más altos en todas las profundidades.

Tabla 4.4. Promedios para relaciones catiónicas (b) y prueba de Tukey al 5% para la variable K (meq/100 g suelo) a diferente profundidad, en el sexto año de investigación.

TRATAMIENTOS	K (meq/100 g suelo)			
	0-5 cm	5-10 cm	10-15 cm	0-20 cm
Ca: 60%, Mg: 30% y K: 10%	0,67 a	0,15 a	0,22 a	0,32 a
Ca: 70%, Mg: 20% y K: 10%	0,20 b	0,33 b	0,11 b	0,15 b
Ca: 80%, Mg: 15% y K: 5%	0,22 b	0,15 b	0,13 b	0,15 b

§= Promedios seguidos de la misma letra, dentro de cada columna, son iguales estadísticamente.

Fuente: Alvarez E, 2012; Elaborado por: Emma Alvarez/2014

4.5. Análisis foliar en el sexto año de investigación.

Para calcio foliar, y potasio foliar, no se presentaron diferencias estadísticas para ninguna fuente de variación; sólo se observaron diferencias significativas para riego y para relaciones catiónicas en magnesio foliar. Los coeficientes de variación se presentaron entre 10.20% a 14.53% (Anexo 6).

Para riego, se presentó una mayor cantidad de Mg con riego (0,16%) y menor cantidad para sin riego (0.14%). En relaciones catiónicas se observaron dos rangos de significancia, habiendo mayor cantidad de Mg para relación Ca:60%, Mg:30% y K:10%) con 0.17 %.

4.6. Análisis financiero (USD) en el sexto año de estudio.

El mayor costo operacional por planta fue para a₁b₁ (Con riego x Ca:60%, Mg:30% y K:10%) con 17.31 dólares, en tanto que, el menor costo operacional fue para a₂b₃ (Sin riego x Ca:80%, Mg:15% y K:5%) con 9.93 dólares (Anexo 7).

La diferencia entre a1b1 (Con riego x Ca:60%, Mg:30% y K:10%) y a2b3 (Sin riego x Ca:80%, Mg:15% y K:5%) está dada por la cantidad aplicada de óxido de magnesio y muriato de potasio, lo cual incrementa el costo de la fertilización.

En la Tabla 4.5, se observa que el tratamiento b1 (Ca: 70%, Mg: 20% y K: 10%) con y sin riego presentan la relación beneficio/costo más alta con 1.79 dólares con riego y 2.03 dólares sin riego, lo cual refleja que por cada dólar invertido se recupera la inversión y se obtiene una ganancia de 0.79 y 1.03 dólares, respectivamente.

Tabla 4.5. Promedios en la interacción Riego x Ca-Mg-K para la Análisis financiero (USD), en el sexto año de investigación.

TRATAMIENTOS	Análisis financiero	
	Con riego	Sin riego
Ca: 60%, Mg: 30% y K: 10%	1.65	1.91
Ca: 70%, Mg: 20% y K: 10%	1.79	2.03
Ca: 80%, Mg: 15% y K: 5%	1.78	1.69

Fuente: Alvarez E, 2012; **Elaborado por:** Emma Alvarez/2014

4.7. Diámetro de la base del estipe (cm) en los seis años de investigación.

El análisis de varianza para la variable diámetro base del estipe de la palma (cm) en los seis años de estudio, solo se detectaron diferencias estadísticas altamente significativas para años (Anexo 8). El coeficiente de variación es de 9.37%, valores que son aceptables en este tipo de investigación en campo.

Los promedios y prueba de Tukey 5% para años en diámetro base del estipe de la palma (Tabla 4.6), se observan cinco rangos de significancia, siendo el mayor diámetro de la corona foliar en los años 4, 6 y 7 con 85.4; 84.9 y 82.14 cm, respectivamente.

Al respecto, Cayón (1999), manifiesta que en los primeros dos años de crecimiento el engrosamiento del tronco parece ser predominante, dando lugar a una base amplia que puede tener más de 60 cm de diámetro; después, el tronco se vuelve un poco más estrecho. León (1998), menciona que, la relación ideal de los cationes Ca:Mg:K: es de 2:1:0.3, es decir que, al encontrarse los elementos en balance, son más fáciles de asimilar, permitiendo el desarrollo del estipe de la palma.

Según lo manifestado por Revelo (2000), el diámetro de la base del estipe es un parámetro de utilidad reducida en labores rutinarias de producción de palma, tiene sólo importancia especial en trabajos de genética y para calcular el peso seco de estípites.

Tabla 4.6. Promedios para años (c) y prueba de Tukey al 5% para la variable diámetro de la base del estipe (cm) en los seis años de investigación.

Años	Medias
4	85.4 a
6	84.9 a
5	82.4 a
3	75.8 b
2	60.1 c
1	49,0 d
0	26.8 e

[§]= Promedios seguidos de la misma letra, dentro de cada columna, son iguales estadísticamente.

Fuente: Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012; Alvarez E, 2012;

Elaborado por: Emma Alvarez/2014

4.8. Altura de planta (cm) en los seis años de investigación.

El análisis de varianza para la variable altura de planta de palma (cm) en los seis años de estudio, solo se detectaron diferencias estadísticas altamente significativas para años; y

diferencias estadísticas significativas para relaciones catiónicas. (Anexo 8). El coeficiente de variación es de 14.18 %, valores que son aceptables en este tipo de investigación.

Los promedios y prueba de Tukey 5% para relaciones catiónicas en altura de planta de palma (Tabla 4.7), se observaron dos rangos de significancia, siendo la mayor altura de planta en b1 (Ca:60%, Mg:30% y K:10%) con 187.9 cm. Para años (Fig. 4.1), se presentaron seis rangos de significancia, siendo la mayor altura al año seis con 354.43 cm.

El crecimiento en altura es insignificante en los tres primeros años de la planta luego del trasplante, luego el ritmo de crecimiento aumenta y es más o menos constante desde los seis años hasta los 25 años. Su aumento en altura dependerá, del ritmo de producción de las hojas y del aumento de la altura por hoja o largo del entrenudo (Corley y Tinker, 2009). Según Vega 2010, la variable altura de planta, debe ser analizado con un criterio diferente, debido a que, no se considera un factor positivo en que las plantas tengan una alta tasa de crecimiento, sino más bien, se busca que este crecimiento se dé lentamente para poder alargar la vida comercial del cultivo.

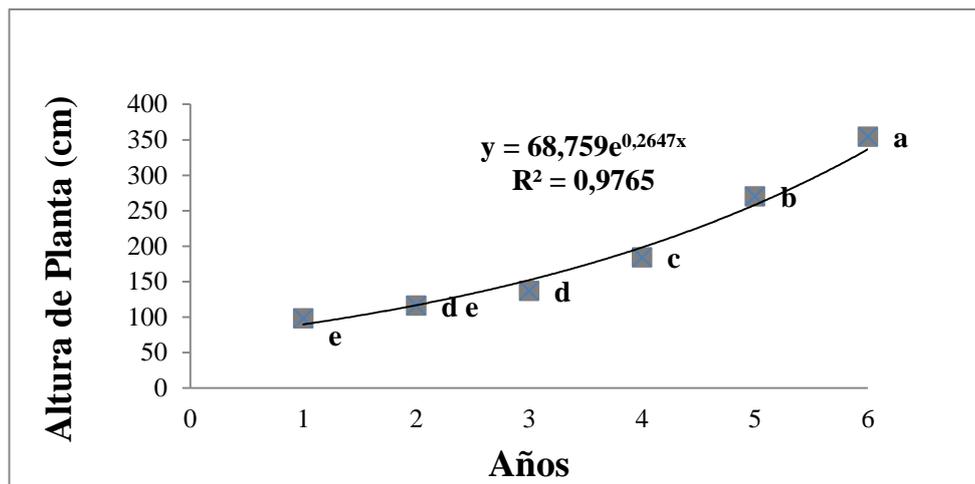
Tabla 4.7. Promedios para relaciones catiónicas (b) y prueba de Tukey al 5% para la variable altura de planta (cm) en los seis años de investigación.

Ca-Mg-K	Medias	
60-30-10	187,9	a
70-20-10	169,6	ab
80-15-5	166,5	b

§= Promedios seguidos de la misma letra, dentro de cada columna, son iguales estadísticamente.

Fuente: Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012; Alvarez E, 2012;

Elaborado por: Emma Alvarez/2014



§= Promedios seguidos de la misma letra, dentro de cada columna, son iguales estadísticamente.

Figura 4.1. Promedios para la variable altura de planta (cm) para años (c) en los seis años de investigación.

Fuente: Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012; Alvarez E, 2012;

Elaborado por: Emma Alvarez/2014

4.9. Emisión foliar (n° hojas planta $^{-1}$ año $^{-1}$) en los seis años de investigación.

El análisis de varianza para la variable emisión foliar de la palma en los seis años de estudio, solo se detectaron diferencias estadísticas altamente significativas para años; y diferencias estadísticas significativas para relaciones catiónicas. (Anexo 9). El coeficiente de variación es de 4.82 %, valores que son aceptables en este tipo de investigación.

Para relaciones catiónicas en emisión foliar de la palma, se observan dos rangos de significancia, siendo la emisión foliar en b1 (Ca:60%, Mg:30% y K:10%) con 26.32 n° hojas planta $^{-1}$ año $^{-1}$ (Fig.4.2). Para años, se observaron cinco rangos de significancia, siendo la mayor emisión foliar de la palma en el año uno con 30.71 hojas planta $^{-1}$ año $^{-1}$ (Fig.4.3).

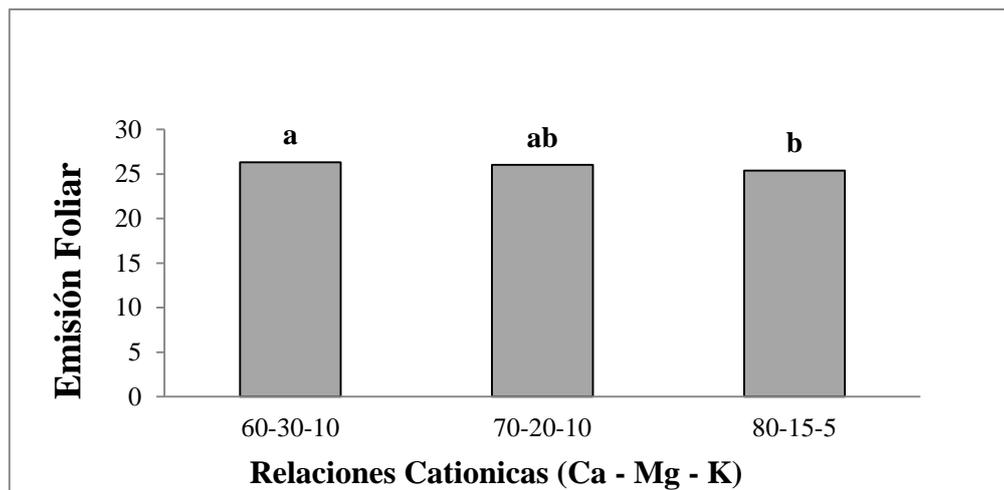
La variable emisión foliar, es una de las más importantes, dado que, es muy sensitiva al estrés y es una buena indicadora de la condición de la planta. Además, la aplicación de

riego y su respuesta no depende del manejo de años anteriores sino más bien, del manejo que se le dé en determinada época, ya que su respuesta es de efecto inmediato (Umaña, 2004). Umaña menciona que la producción de hojas alcanza un valor máximo alrededor de los 28 meses de edad después del trasplante con 3.2 hojas/mes (41 hojas/año). Sin embargo, la emisión foliar disminuye gradualmente y en el noveno o décimo año, las palmas mantienen una tasa de emisión foliar de 2 hojas/mes (20 - 24 hojas/año).

Una palma necesita como promedio unas 1400 horas/luz/año (Corley y Tinker, 2009), pero en La Concordia la cantidad de horas/luz durante la investigación no fue la necesaria (Anexo 13), factor que no puede ser manejado y que estaría afectando el crecimiento de las plantas.

Revelo (2002), manifiesta que, la producción de hojas en palmas de 3 a 6 años es de 18 a 27, en condiciones ecológicas normales, resultando un rango de 1.5 a 2.25 hojas/mes. En la presente investigación, se obtuvo un mayor rango, cuyo promedio es de 2.4hojas/mes, superando el rango manifestado por Revelo.

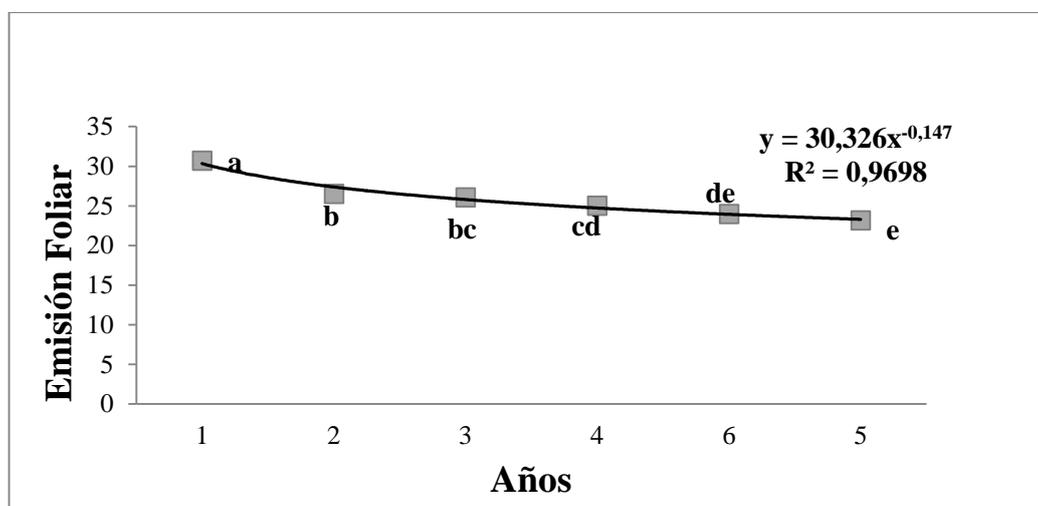
Los períodos secos pueden reducir hasta un 12% o impedir la expansión foliar de hasta 6 hojas, haciendo que permanezcan cerradas y en estado de flecha; mientras que, con un suministro apropiado de agua la apertura de hojas es del orden dos por mes, es decir que la tasa de emisión foliar es sensible a los principales estados de “stress” siendo un buen indicador de las condiciones de palma en los estados de desarrollo (Revelo, 2002).



§= Promedios seguidos de la misma letra, dentro de cada columna, son iguales estadísticamente.

Figura 4.2. Promedios para la variable emisión foliar (n° hojas planta $^{-1}$ año $^{-1}$) para relaciones catiónicas (b) en los seis años de investigación.

Fuente: Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012; Alvarez E, 2012;
Elaborado por: Emma Alvarez/2014



§= Promedios seguidos de la misma letra, dentro de cada columna, son iguales estadísticamente.

Figura 4.3. Promedios para la variable emisión foliar (n° hojas planta $^{-1}$ año $^{-1}$) para años (c) en los seis años de investigación.

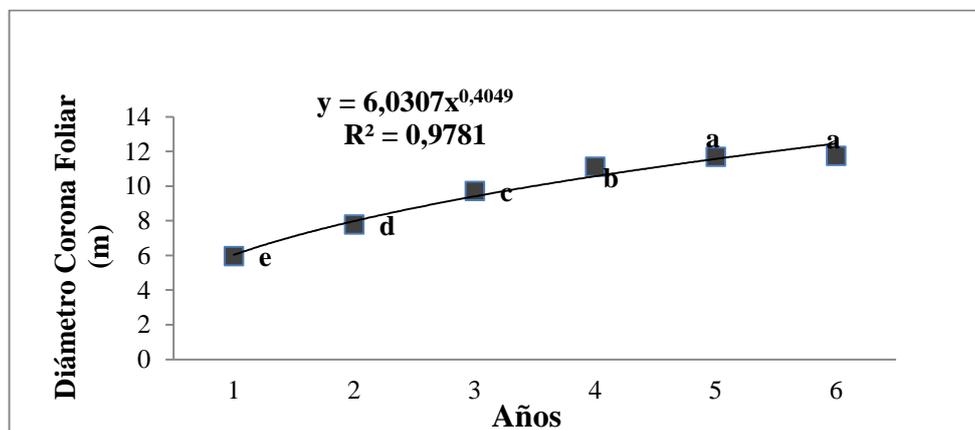
Fuente: Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012; Alvarez E, 2012
Elaborado por: Emma Alvarez/2014

4.10. Diámetro de la corona foliar (m) en los seis años de investigación.

En el análisis de varianza para diámetro de la corona foliar de la palma (m) en los seis años de estudio, solo se detectaron diferencias estadísticas altamente significativas para años (Anexo 9). El coeficiente de variación es de 3.85%.

Según la prueba de Tukey 5% para años en diámetro de la corona foliar de la palma (m), se observaron cinco rangos de significancia, siendo el mayor diámetro de la corona foliar de la palma en los años año seis y cinco con 11.7 m y 11.69 m, respectivamente (Fig.4.4).

Según Ayala (2010), la falta de horas de luz, también puede influir en el incremento de variables como diámetro de la corona foliar, puesto que la actividad fotosintética se reduce, lo cual provoca una baja actividad fisiológica de la planta. Al no existir una adecuada fotosíntesis, tampoco existirá una adecuada conversión de los nutrientes absorbidos, por lo que, la planta no tendrá una respuesta positiva para desarrollar sus hojas.



§= Promedios seguidos de la misma letra, dentro de cada columna, son iguales estadísticamente.

Figura 4.4. Promedios para la variable diámetro de la corona foliar de la palma (m) para años (c) en los seis años de investigación.

Fuente: Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012; Alvarez E, 2012;

Elaborado por: Emma Alvarez/2014.

4.11. Área foliar (m^2) en los seis años de investigación.

El análisis de varianza para la variable área foliar de la palma (m^2) en los seis años de estudio, se detectaron diferencias estadísticas altamente significativas para relaciones catiónicas, años, en las interacciones: riego con años y en años x riego x Ca-Mg-K; y diferencias estadísticas significativas para la interacción relaciones catiónicas x años (Anexo 9). El coeficiente de variación obtenido fue de 9.68%.

En relaciones catiónicas, se observan dos rangos de significancia, con la mayor área foliar de la palma en b1 (Ca:60%, Mg:30% y K:10%) con $187.4 m^2$ (Fig.4.5). Mientras que, para años se obtuvieron cuatro rangos de significancia, con la mayor área foliar en el año 5 con $232.7m^2$ (Fig.4.6). En la interacción riego x años, se observaron seis rangos de significancia, siendo la mayor área foliar en riego x año 4 (a_2c_4) con $261.8 m^2$ (Tabla 4.8).

Para la interacción relaciones catiónicas x años en área foliar de la palma (m^2), se observa seis rangos de significancia, siendo la mayor área foliar en la relación Ca:60%, Mg:30% y K:10% x año 5 (b_1c_5) y en la relación Ca:70%, Mg:20% y K:10% x año 4 (b_2c_4) con 247.6 y $245.8 m^2$ (Tabla 4.9). Mientras que, para la interacción riego x relaciones catiónicas x años en área foliar (Tabla 4.10), se observaron doce rangos de significancia, siendo la mayor área foliar en sin riego x relación Ca:70%, Mg:20% y K:10% x año 4 ($a_2b_2c_4$) y en la relación Ca:70%, Mg:20% y K:10% x año 4 (b_2c_4) con $299.7 m^2$.

Cayón (1999), menciona que, el crecimiento del cultivo de la palma de aceite depende fundamentalmente, del desarrollo progresivo de su área foliar, lo cual permite utilizar más eficientemente la energía solar para la fotosíntesis. El crecimiento del cultivo de palma de aceite, depende fundamentalmente del desarrollo progresivo de su área foliar, lo cual le permite utilizar más eficientemente la energía solar para la fotosíntesis, por tanto, los factores que afecten a la producción de hojas afectaran a la producción potencial de

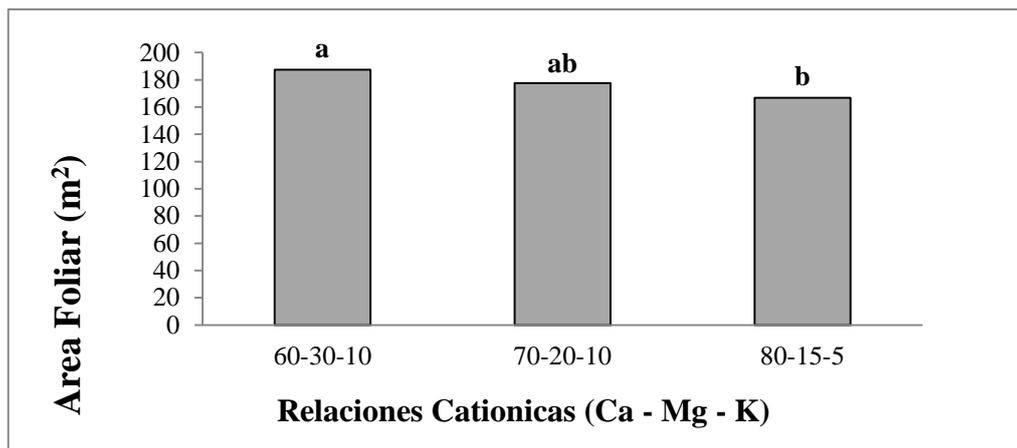
racimos. La producción está influenciada por el tamaño, forma, edad, ángulo de inserción, separación vertical y arreglo horizontal de las hojas.

Umaña (2004), aclara que los diferentes materiales genéticos varían considerablemente los valores del área foliar/hoja. Idealmente para obtener el máximo posible de fotosíntesis, las palmas deben poseer una considerable área foliar en estados iniciales de crecimiento (cuarto año) y hojas de tamaño medio en el período posterior al inicio de la competencia (7 a 10 años).

Hartley (1983), señala que la producción de hojas determina la producción potencial de racimos y los factores que afectan la producción de hojas afectarán la producción real de racimos.

Revelo (2002), manifiesta que la senescencia prematura de las hojas (o corta duración de las hojas) se ve determinada en buena medida por deficiencias nutricionales y en especial por el magnesio o por el déficit hídrico.

Vega (2010), mencionan que es importante evaluar la producción de hojas, ya que representan la fábrica de la palma porque son las encargadas de la producción de nutrimentos y energías esenciales para la producción de racimos.

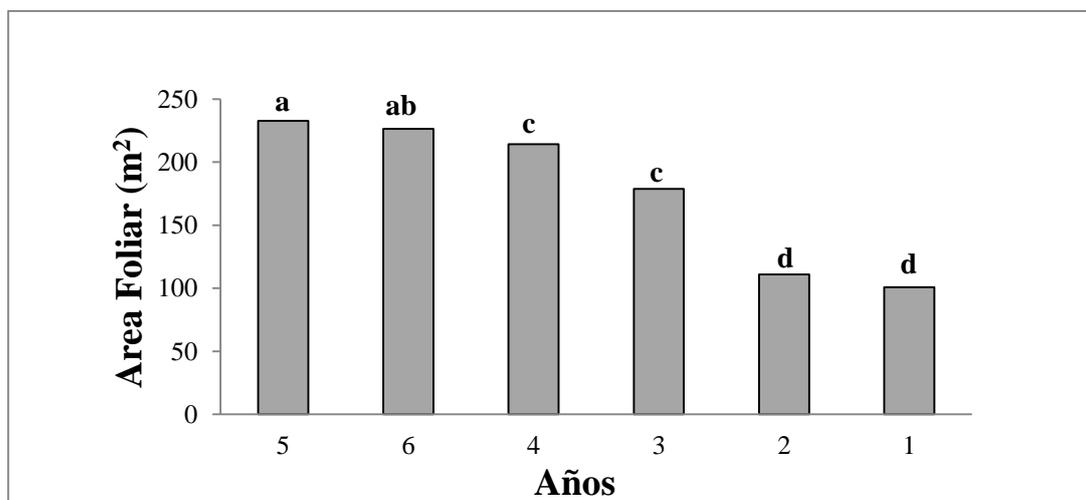


§= Promedios seguidos de la misma letra, dentro de cada columna, son iguales estadísticamente.

Figura 4.5. Promedios para la variable área foliar de la palma (m²) para relaciones catiónicas (b) en los seis años de investigación.

Fuente: Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012; Alvarez E, 2012

Elaborado por: Emma Alvarez/2014



§= Promedios seguidos de la misma letra, dentro de cada columna, son iguales estadísticamente.

Figura 4.6. Promedios para la variable área foliar de la palma (m²) para años (c) en los seis años de investigación.

Fuente: Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012; Alvarez E, 2012;

Elaborado por: Emma Alvarez/2014

Tabla 4.8. Promedios para riego x años (a x c) y prueba de Tukey al 5% para la variable área foliar de la palma (m²) en seis años de investigación.

Año	Con Riego	Sin Riego
1	101.32 f	100.19 f
2	113.02 f	108.81 f
3	174.37 e	183.41 de
4	190.88 de	261.85 a
5	227.35 bc	238.00 ab
6	204.68 cd	217.48 bc

§= Promedios seguidos de la misma letra, dentro de cada columna, son iguales estadísticamente.

Fuente: Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012; Alvarez E, 2012

Elaborado por: Emma Alvarez/2014

Tabla 4.9. Promedios para relaciones catiónicas x años (b x c) y prueba de Tukey al 5% para la variable área foliar de la palma (m²) en seis años de investigación.

Año	Ca: 60%, Mg: 30% y K : 10%	Ca: 70%, Mg: 20% y K : 10%	Ca: 80%, Mg: 15% y K: 5%
1	107,72 f	95,78 f	98,75 f
2	120,11 f	111,62 f	101,02 f
3	189,67 cde	177,20 de	169,79 e
4	232,60 ab	245,89 a	200,60 bcde
5	247,68 a	231,63 ab	218,70 abc
6	226,57 ab	203,50 bcde	212,71 abcd

§= Promedios seguidos de la misma letra, dentro de cada columna, son iguales estadísticamente.

Fuente: Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012; Alvarez E, 2012

Elaborado por: Emma Alvarez/2014

Tabla 4.10. Promedios para riego x relaciones catiónicas x años (axbxc) y prueba de Tukey al 5% para la variable área foliar de la palma (m²) en seis años de investigación.

Año	Con Riego			Sin Riego		
	Ca: 60%, Mg: 30% y K : 10%	Ca: 70%, Mg: 20% y K : 10%	Ca: 80%, Mg: 15% y K: 5%	Ca: 60%, Mg: 30% y K : 10%	Ca: 70%, Mg: 20% y K : 10%	Ca: 80%, Mg: 15% y K: 5%
1	104,4 l	98,0 l	101,6 l	111,1 kl	93,6 l	95,9 l
2	122,2 h-l	114,0 j-l	102,9 l	118,1 i-l	109,2 kl	99,2 l
3	181,7 d-g	171,9 f-j	169,5 g-k	197,6 c-g	182,5 d-g	170,1 g-j
4	215,1 c-g	192,1 d-g	165,4 h-k	250,1 a-c	299,7 a	235,8 b-d
5	223,0 b-g	233,9 b-d	225,1 b-g	272,4 a b	229,4 b-e	212,3 c-g
6	220,6 b-g	174,7 e-i	218,8 b-g	230,5 b-e	227,8 b-f	194,1 c-g

§= Promedios seguidos de la misma letra, dentro de cada columna, son iguales estadísticamente.

Fuente: Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012; Alvarez E, 2012

Elaborado por: Emma Alvarez/2014

4.12. Producción de la Planta (t ha⁻¹) en los seis años de investigación.

El análisis de varianza, para producción de la planta (t ha⁻¹) seis años de estudio, sólo se detectó diferencias estadísticas altamente significativas para años. El coeficiente de variación es de 21.16%, valor aceptable en este tipo de investigación (Anexo 10).

Estos resultados indican que existe efecto en la producción a medida que la planta se desarrolla, como lo manifiesta Alvarado, Montoya (1998) y mencionan que, el rendimiento y el peso promedio del racimo aumentan con la edad de las palmas, y este comportamiento se estabiliza cuando las palmas alcanzan los nueve años de edad.

Los promedios y prueba de Tukey al 5% para los años en producción de la planta (t ha⁻¹), Tabla 4.9, se observan tres rangos de significancia, siendo la producción más alta en los años 4 y 6 con 21.00 y 18.70 t ha⁻¹. En los primeros años de producción se ve observó un incremento, y se debe a que la planta aumentó de tamaño y por su adecuada fertilización de los dos años anteriores, ya que la formación del fruto que tiene un período aproximadamente de 36 a 40 meses.

Además, Sanjinés (1987), menciona que la producción de flores masculinas y femeninas es influenciada por las condiciones de luminosidad, fertilización y sequía. Además, la evidencia indica que la sequía reduce la proporción sexual y aumenta la inflorescencia masculina en el primer año julio 2006 – junio 2007 tuvo una precipitación de 4112,5 mm y esto se vio reflejado en cuarto año con 21,00 t ha⁻¹. En tercer año de estudio tuvo una precipitación de 2527,1 mm y se vio reflejado directamente en el quinto año con una producción de 15,75 t ha⁻¹ (Anexos 11 a 13).

En el primer año de producción, no se puede esperar un comportamiento normal, por el desarrollo de un racimo es de 40 meses, con lo cual la cosecha de racimos es reflejada por el manejo en vivero y al año anterior a la evaluación, esta puede ser una de las razones de no encontrar diferencias estadísticas pero si matemáticas. Umaña (2004), menciona que la producción de racimos en la palma aceitera se inicia en los materiales precoces después de que la palma completa su segundo año en el campo. Con lo anteriormente señalado, se justifica que la producción en el segundo año sea baja, debido en parte a que constituye el primer año de producción.

Tabla 4.11. Promedios para años (c) y prueba de Tukey al 5% para la variable producción de la planta (t ha⁻¹) en seis años de investigación.

Años	Medias
4	21.0 a
6	18.7 ab
5	15.8 bc
3	15.1 c
2	13.8 c

§= Promedios seguidos de la misma letra, dentro de cada columna, son iguales estadísticamente.

Fuente: Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012; Alvarez E, 2012

Elaborado por: Emma Alvarez/2014

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En el sexto año, las relaciones catiónicas evaluadas no afectaron en forma diferenciada a las variables evaluadas; con la relación Ca:60%, Mg:30% y K:10% en el sexto año tuvo alto contenido en Mg en el suelo en la profundidad de 0-5; 15-20 y de 0-20 cm.
- La relación Ca:60%, Mg:30% y K:10% mostró una mejor respuesta en las variables altura de planta, área foliar y emisión foliar, en los seis años de investigación.
- El riego tuvo efecto positivo sobre las siguientes variables producción y área foliar en los seis años de estudio; además, tuvo efecto en la producción acumulada de los seis años.
- Para años, la mejor respuesta en las variables diámetro base del estipe y producción se observó en el cuarto año; mientras que, el área foliar fue mayor en el quinto, y en el sexto las variables diámetro de la corona foliar y altura de planta.
- La relación Ca:80%, Mg:15% y K:5% presentó mayor contenido de Ca en el suelo a diferentes profundidades: 0-5; 15-20 y de 0-20 cm, con o sin riego,
- El análisis financiero indicó que la mejor relación beneficio costo en el sexto año de investigación fue para la relación Ca: 70%, Mg: 20% y K: 10%, con y sin riego.

5.2. Recomendaciones

- Mantener en el suelo la relación catiónica Ca:60%, Mg:30% y K:10%, porque fue la relación que dio el mejor rendimiento.
- En las zonas que es posible el riego durante los meses de junio a diciembre, se debe aplicar como lámina neta la cantidad de mm evaporados del lisímetro MC, por los Kc (Coeficiente del cultivo) de 0,50 en el segundo año de cultivo; 0,55 en el tercer año de cultivo, 0,60 en el cuarto año de cultivo; 0,7 en el quinto año de cultivo y 0,9 en el sexto año de cultivo.
- Continuar con la investigación en otras zonas palmeras del bloque occidental, en las cuales se presentan períodos más marcados de sequía o déficit hídrico, tomando en cuenta los resultados obtenidos en cuanto a rendimiento durante los últimos cinco años de producción y los costos del sistema de riego.
- Trabajar con los análisis de suelo y foliar, con el fin de manejar un plan de fertilización balanceado, teniendo en cuenta el antagonismo que tienen los cationes Ca, Mg y K.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, A. (2000, 6 – 8 abril). *Efecto del déficit hídrico en el comportamiento de los patrones diarios de consumo de agua por la palma de aceite*. Documento presentado en XIII Conferencia internacional de palma de aceite. Cartagena, Colombia. Memorias.

Africano, F. (2000). Labores de mantenimiento en cultivos establecidos de palma de aceite. Bogotá, CO. *CENIPALMA*. pp. 173

Alvarado, A., Montoya, C. (1998). *Efecto del clima y la edad de la palma de aceite sobre la variación de algunos componentes del racimo en coto, Costa Rica*. *Revista PALMAS*, (19):43-48

Álvarez, O., Silva, J.; Garzón, E. 2006. *Conceptos básicos para la realización del balance hídrico en el cultivo de la Palma de Aceite*. Kronos Impresiones. Bogotá, CO. 46 p

ANCUPA (Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera), EC. (2005). *Inventario de plantaciones de palma aceitera en el Ecuador*. Quito, EC. Ecuador. 165 p.

Ayala, A. (2010). *Evaluación de diferentes relaciones de Ca, Mg y K en palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) bajo condiciones de riego y sin riego*. LA CONCORDIA. ESMERALDAS. Tesis de Grado de Ingeniería Agronómica, Universidad Central del Ecuador, Quito - Ecuador.

Cakmak, I.; Yazini, A. (2010). Magnesio: el elemento olvidado en la producción de los cultivos. *Informaciones Agronómicas* (78), 16 – 19

Calvache, M. (1999). Determinación de la eficiencia de la aplicación de potasio en el cultivo de palma africana utilizando ^{85}Rb como trazador. *El Palmicultor*, (13), 13-15

Calvache, M. (2001). Manejo del agua en el cultivo de la palma aceitera. *El Palmicultor* (14), 17-24.

Calvache, M. (2002). Manejo del riego en el cultivo de la palma aceitera. *El Palmicultor*. (19), 33-38

Calvache, M. (2005). *Importancia del riego en Palma Aceitera*.

Calvache, M. (2009). *Curso de física de suelos*. Documento presentado en la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. 103 p.

Calvache, M., Chimbo G., y Herrera, D. (2012). Balance hídrico en un suelo cultivado con palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.). In C. Videla, (ed.) *XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo "Latinoamérica unida protegiendo sus suelos"*. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, Mar de Plata, Argentina. pp. 1-5

Cayón, D. (1996). *Ecofisiología de la palma de aceite (Elaeis guineensis Jacq.)*. Documento presentado en Primer curso internacional de Palma de Aceite. Santa Fe de Bogotá, Colombia. Memorias. p. 39-54.

Cayón, D. (2008). *Ecofisiología de la Palma de Aceite*. Armenia Colombia. CORPOICA. pp. 20-26

CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAÍZ Y TRIGO (CIMMYT) (1988). *Formulación de Recomendaciones a partir de Datos Agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica*. Edición Completamente Revisada. México, CIMMYT.

Cevallos, G. (2008). Evaluación de diferentes relaciones de Ca, Mg y K en palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) bajo condiciones de riego y sin riego. LA CONCORDIA. ESMERALDAS. Tesis de Grado de Ingeniería Agronómica, Universidad Central del Ecuador, Quito - Ecuador.

Cevallos, G., Ayala, A., Calvache, M. (2009). El desbalance catiónico Calcio, Magnesio, Potasio: Causa principal del problema amarillamiento-secamiento de la palma aceitera, en la zona de la Concordia. *Boletín Técnico ANCUPA*, (3):3-7.

Cevallos G., Ayala A., Parra J., Guerra Martha., Guañuna O., Morales R. Calvache M., Sánchez J., Bernal G. 2013. Investigaciones en Palma Aceitera. Recopilación de estudios, conocimientos y productividad desarrollados por el CIPAL. *Recuperación de Palmas (Elaeis guineensis Jacq.) bajo condiciones de desbalance catiónico (Ca-Mg-K), utilizando diferentes fuentes de Mg y K. La Concordia, Ecuador*. Ecuador. La Concordia, Ecuador. pp. 33-36

Corley, R. y Tinker P. (2009). *La palma de aceite*. Trad. Maldonado, E; Maldonado F. (4ª Ed.). Santa Fe de Bogotá, Colombia: Molher Impresores. 604 p.

Corrado, F., Martínez, L. (1982). *El amarillamiento con secamiento de la Palma Africana en el Ecuador. Santo Domingo*. pp. 56

Chávez, F., Rivadeneira, J. (2003). *Manual de cultivo de palma africana (Elaeis guineensis Jacq.) para la zona noroccidental del Ecuador*. (2ª Ed.). Quito, Ecuador: Pasquel Producciones. pp. 9-10

Chinchilla, (2004, agosto-septiembre). *Enfermedades de la Palma aceitera*. Documento presentado en Curso Internacional de la palma aceitera ASD. Costa Rica. Memorias.

D Mundo, M., Martínez, P. 2002. *Sistema computarizado para la gestión del agua en sistemas de riego por gravedad en México*. Juitepec, Morelos. MEX. Ingeniería del agua. Vol. 9. 171, 181 p. Recuperado el 24/03/2012. Disponible en <http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/2586/1/92article5.pdf>.

Dubos, B., Caliman, J., Corrado, F., Quencez, S., Tailliez, B. (2000). La importancia de la nutrición de Magnesio en la palma de aceite. *PALMAS*. 21(4):59-69.

Fairhurst, T., Rankine, I. (1998). *Guía de Campo. Serie en Palma de Aceite Madura*. Potash and Phosphate Institute (PPI), Potash and Phosphate Institute of Canada (PPIC) and 4T Consultants (4T), Canada. Vol.: (3). pp.57-63

Fairhurst, T., Rankine, R. (2004). *Guía de campo de palma aceitera*. Fase madura.

Fairhurst, T., Caliman, T., Härdeter, R., Witt, C. (2005). *Palma de Aceite. Desordenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes*. Quito. Ecuador. pp. 14-45

Fairhurst, T., Rankine, I., Kerstan A., McAleer, V., Taylor, C., Griffiths, W. (2012). Marco conceptual para la agricultura de precisión en plantaciones de palma de aceite, In

Fairhurst, T. y Hardter, R. (eds.) (2012). *Palma de aceite: manejo para rendimientos altos y sostenibles*, Primera ed. International Plant Nutrition Institute (IPNI) e International Potash Institute (IPI). pp. 351-364

Foster, H. (2012). Estimación de las necesidades de fertilizantes en la palma de aceite, p. 257-284, In T. Fairhurst and R. Hardter, (eds.). *Palma de aceite: manejo para rendimientos altos y sostenibles*. 1ª Ed. International Plant Nutrition Institute (IPNI) e International Potash Institute (IPI).

Granda, E. (1996). *Riego en la Palma de Aceite*. Documento presentado en Primer Curso Internacional de Palma de Aceite. Bogotá, CO. 318 p.

Granda, E. (2002). Aspectos prácticos sobre el manejo del riego en una plantación de palma aceitera en la costa norte de Colombia. *El Palmicultor*, (19):39-52

Granda, M. (2012). *Revisión y análisis de las investigaciones sobre los híbridos interespecíficos (*Elaeis oleífera* x *Elaeis guineensis*) como alternativa de manejo del problema de pudrición de cogollo (PC) en palma aceitera en Ecuador*. Tesis de Grado de Especialista en Manejo de Palma Aceitera, Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo, Ecuador.

Goh, K.H. (2000). *Climatic requirements of the oil palma for high yield*. In: Managing oil palm for high yields: agronomic princiles, In Goh, K. H. (ed).Malaysian. pp. 1-17

Guañuna, O. (2012). *Evaluación de diferentes relaciones de Ca, Mg y K en palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) bajo condiciones de riego y sin riego*. LA CONCORDIA. ESMERALDAS. Tesis de Grado de Ingeniería Agronómica, Universidad Central del Ecuador, Quito - Ecuador.

Guerra, M.C. (2011). *Evaluación de diferentes relaciones de Ca, Mg y K en palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) bajo condiciones de riego y sin riego*. LA CONCORDIA. ESMERALDAS. Tesis de Grado de Ingeniería Agronómica, Universidad Central del Ecuador, Quito - Ecuador. pp. 114

Heartly, C. W. S. (1983). *La palma de aceite (Elaeis guineensis Jacq.)* (2ª Ed.). México, MX: Editorial Continental. pp. 603-707.

Heartly, C. W.S. (1988). *The oil palm*, Vol. (3ª Ed), Longman, London.

INPOFOS (Instituto de Potasa y el Fósforo, US) (1997). *Manual Internacional de la Fertilidad del Suelo*. Norcross, GA. *Potash & Phosphate Institute*. Quito, Ecuador. pp. 2-10

Laínez, J. 1989. Avance de la investigación del problema "Amarillamiento - secamiento" de la Palma Africana en el Ecuador. INIAP. Quito, Ec. *Miscelánea* (51): 22-23.

Lema, V. (2008). *Influencia del riego en el comportamiento de tres híbridos Tenera de Palma Aceitera (Elaeis guineensis Jacq.)* de diferentes orígenes. La Concordia, Esmeraldas. *Rumipamba* 22 (1): 48-49.

León, A. (1998). Capacidad de Intercambio Catiónico y Química de las Bases del Suelo, en: Ciclo de cursos de actualización de conocimientos sobre suelos con aplicación en el Cultivo de Palma de Aceite. Principales características del suelo. *CENIPALMA*, Bogotá, Colombia. pp. 34-45

Martínez, A. (2006). *Influencia del riego en el comportamiento de tres híbridos tenera de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.)* de diferentes orígenes. Santo Domingo – Pichincha. Tesis de Grado de Ingeniería Agronómica, Universidad Central del Ecuador, Quito - Ecuador.

Mejía, J. (2000). Consumo de agua por la palma de aceite y efectos del riego sobre la producción de racimos, una revisión de literatura. *Revista Palmas*, (21): 51 – 58

Mite, F., M. Carrillo, M., Espinosa J. (1998). Influencia de la fertilización y el riego sobre el desarrollo, nutrición y rendimiento de la palma africana en Ecuador. *INPOFOS*. Quevedo, Ecuador.

Mite, F., Carrillo, M., Espinosa, J. (1999). Fertilizer use efficiency in oil palm is increased under irrigation in Ecuador. *Better Crops International*, 13(1):30-32.

Muñoz, R. 1978. Aspectos generales de la Nutrición y Fertilización de la Palma de Aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) con énfasis a las condiciones colombianas. In Muñoz, R. *Temas de orientación agropecuaria: La Palma africana de aceite*, (149), 101 – 123

Naandanjain, 2011. *Beneficios del Riego en Palma Aceitera*. Recuperado el: 24/03/2012. Disponible en: http://es.naandanjain.com/uploads/catalogerfiles/000-Spanish/Crop%20Applications/OilPlam_span_booklet_100411F.pdf.

Salas, R. 2010. *La palma aceitera africana (Elaeis guineensis Jacq.)*. Recuperado el 11 de octubre del 2012, de <http://www.sian.info.ves/publicaciones/segencuentr/rsalas.htm>.

Ortiz, R., Fernández, O. (2000). *Cultivo de la Palma Aceitera*. San José, CR. Universidad Estatal a distancia. pp. 27-39

Owen, E. (1993). Fertilización de la palma africana (*Elaeis guineensis* J.) en Colombia. *Revista El Palmicultor* (8), 16-22 Primera parte.

Padilla, W. (2001). Interpretación de los análisis de suelos y foliar en palma africana en el Ecuador. *Revista El Palmicultor*, (14), 25-30.

Palacios, J. (2003). *Evaluación de varios niveles de Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Magnesio en la nutrición de la palma africana (Elaeis guineensis Jacq)*. Tesis de Grado de Ingeniería, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo.

Parra, J. (2010). *Evaluación de diferentes relaciones de Ca, Mg y K en palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) bajo condiciones de riego y sin riego. LA CONCORDIA. ESMERALDAS*. Tesis de Grado de Ingeniería Agronómica, Universidad Central del Ecuador, Quito - Ecuador.

Peter, K. (2005). *Calcium: A Central Regulator of Plant Growth and Development*. Recuperado el 11 de octubre del 2012, de: <http://www.plantcell.org/cgi/content/full/17/8/2142>

Perrin, R. K., Winkelman, D., Moscardi, E. R., Anderson, J.R. (1976). *Formulación de Recomendaciones a partir de Datos Agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica*. Folleto de Información (27). Mexico, CIMMYT.

Plaster, E. (1997). *La Ciencia del Suelo y su manejo*. Paraninfo, España. pp. 1-207.

Ramírez, F. (2011). *Manejo de la Nutrición en Palma Aceitera*. San José, CR. 39p.

Rankine, I., Canpontex, I., Fairhurst, T. (1998). Guía de campo, Serie en Palma Aceitera., Fase Madura, *Potash & Phosphate Institute Otawa, CA.*(v.3), pp. 38-39

Reinoso, V. (2009). *Influencia del riego en el comportamiento de tres Híbridos Tenera de Palma Aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) de diferentes orígenes*. La Concordia, Esmeraldas. Rumipamba 23 (1): 42-43

Revelo, M. (2002). *Palmicultura Moderna Orientación para productores y empresarios*. Sociedad Las Palmas LTDA. Bogotá, CO. Edición Galrobayo. (V. 1). pp. 9-18; 45-72; 99-138.

Reyes, S (2012). *Influencia del riego en el comportamiento de tres híbridos tenera de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) de diferentes orígenes (7º año de ejecución)*. La Concordia, Santo Domingo de los Tsáchilas. Tesis de Grado de Ingeniería Agronómica, Universidad Central del Ecuador, Quito - Ecuador.

Rivadeneira, J. (1999). Avances de la Investigación en el Amarillamiento-secamiento del follaje en palma africana. *El Palmicultor*, (13), 49-50

Romero, G. (1980). *Determinación de la relación Mg-K en suelos cultivados con palma africana. (Elaeis guineensis Jacq.)*. Tesis de Grado de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí.

Salas, R. 2010. *La palma aceitera africana (Elaeis guineensis Jacq.)*. Recuperado el 11 de octubre del 2012, de <http://www.sian.info.ves/publicaciones/segencuentr/rsalas.htm>.

Sanjines, A. (1987). Efectos del riego y la sequía en el crecimiento, floración y producción de la palma africana. *Revista PALMAS*, (59), 59–61

Taiz, L., Zeiger, E. 2004. *Fisiología Vegetal. Nutrición Mineral*. (3ª Ed.). Sao Paulo, BR. ARTMED. 719p.

Thompson, L., Troeh, F. (1982). *Los Suelos y su Fertilidad*. (4 Ed.). Barcelona, España. Reverte. 649p.

Umaña, C. 2004. *Morfología, crecimiento, floración y rendimiento de la palma aceitera. Costa Rica*. Documento presentado en XXVI Curso Internacional de Palma Aceitera ASD. Costa Rica. pp. 76-80.

Van Raij, B. (2011). *Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes International Plant Nutrition Institute-Brasil*. Piracicaba. 420 p.

Vega, C. (2010). *Influencia del riego en el comportamiento de tres Híbridos Tenera de Palma Aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) de diferentes orígenes. La Concordia, Esmeraldas*. Tesis de Grado de Ingeniería Agronómica, Universidad Central del Ecuador, Quito - Ecuador.

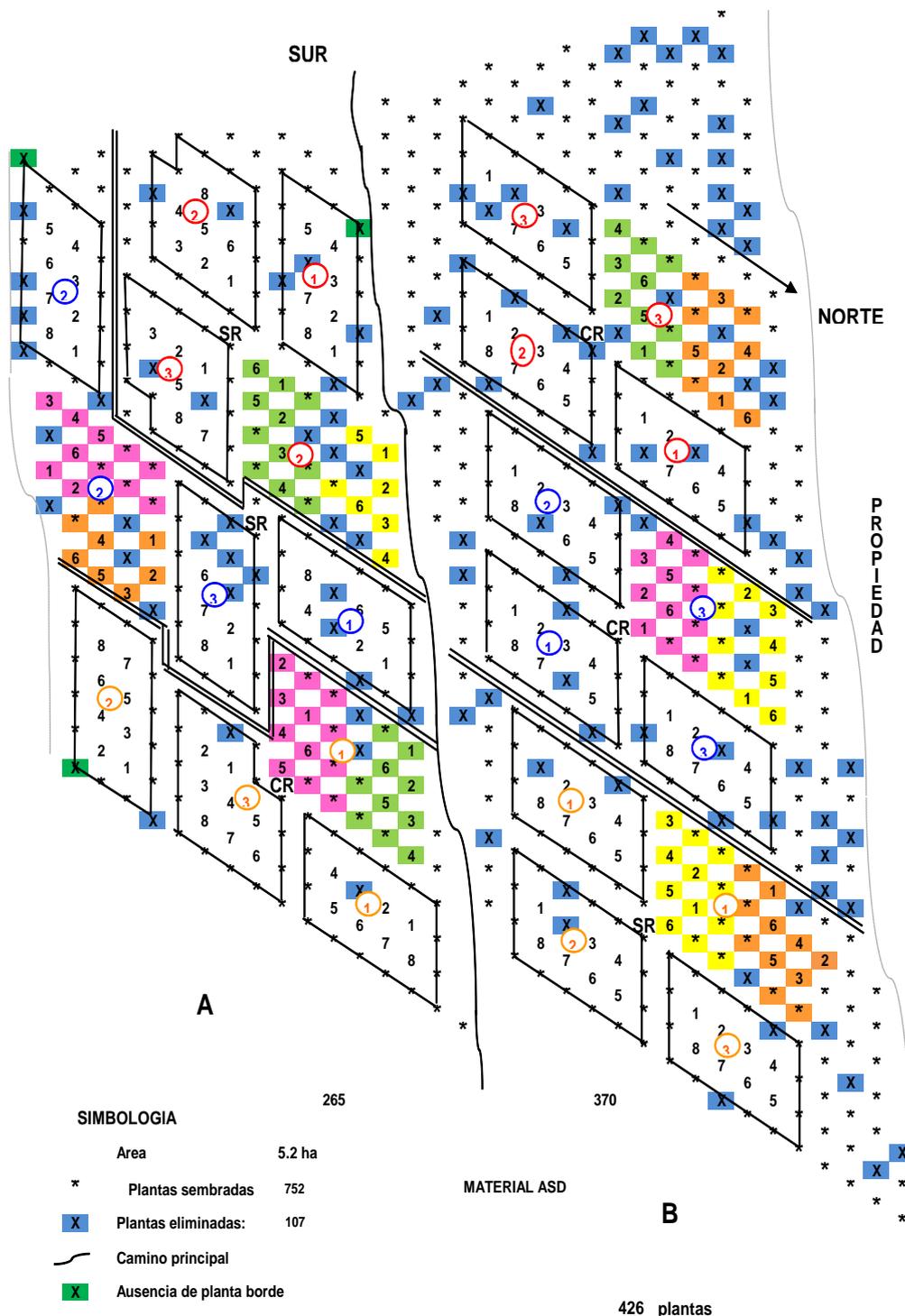
Vega, C., Calvache, M., Lalama, M. (2010). *Influencia del riego en el comportamiento de tres Híbridos Tenera de Palma Aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) de diferentes orígenes. La Concordia, Esmeraldas*. 24 (2): 29-40

Vera, L. (2004). *Palmicultor del Tercer Milenio de Quinindé al Mundo. Quinindé–Ecuador. PALCIEN S.A.* (1), 12-13.

Yamada, T., Terry, R.; Espinoza, J. (2005, 6-8 sep). *Potasio en la agricultura brasilera. El potasio en palma aceitera. POTAFOS*. (6-8 sep. 2003, Sao Paulo) 2003. Memorias, Sao Pedro, BR. pp. 22-24

ANEXOS

ANEXO 1. Distribución de las interacciones en campo.



ANEXO 2. Cuadrados medios de los análisis de variancia de ocho caracteres agronómicos en el sexto año de evaluación. CIPAL. 2012.

Fuente de variación	Cuadrados medios							
	Grados de libertad	Diámetro Base del Estipe (cm)	Altura de Planta (cm)	Emisión Foliar (hojas año ⁻¹)	Diámetro de Corona Foliar (m)	Área Foliar (m ²)	Producción por planta (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Tasa de extracción (%)
Total	17							
Repetición	2	357,29 ns	1043,79 ns	8,30 ns	0,82 ns	696,62 ns	10,30 ns	3,47 ns
Riego	1	62,35 ns	566,50 ns	0,19 ns	0,36 ns	902,59 ns	229,91 ns	0,37 ns
Error (a)	2	17,39	2135,06	1,46	2,01	840,02	28,05	41,37
Ca-Mg-K	2	65,95 ns	5202,34 ns	0,07 ns	0,19 ns	809,29 ns	6,78 ns	42,15 ns
Riego*Ca-Mg-K	2	302,73 ns	2036,01 ns	0,26 ns	0,16 ns	2340,16 ns	7,57 ns	28,94 ns
Error	8	75,13	3185,43	0,31	0,29	572,53	19,12	20,98
C.V. (%)		10,20	15,92	2,32	4,62	11,17	23,49	17,75

C.V.= Coeficiente de variación

Fuente: Alvarez E, 2012; Elaborado por: Emma Alvarez/2014

ANEXO 3. Cuadrados medios de los análisis de variancia de Ca (meq / 100 g suelo) a diferentes profundidades en el sexto año de evaluación. CIPAL. 2012.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios				
		Ca, 0-5 cm (meq/100 g suelo)	Ca, 5-10 cm (meq/100 g suelo)	Ca, 10-15 cm (meq/100 g suelo)	Ca, 15-20 cm (meq/100 g suelo)	Ca, 0-20 cm (meq/100 g suelo)
Total	17					
Repetición	2	22,17 ns	2,17 ns	2,72 ns	0,39 ns	4,11 ns
Riego	1	0,89 ns	0,89 ns	2,00 ns	0,22 ns	0,89 ns
Error (a)	2	6,06	5,72	0,17	0,06	0,67
Ca-Mg-K	2	23,17 ns	4,67 ns	0,06 ns	0,72 ns	2,93 ns
Riego*Ca-Mg-K	2	96,06 **	16,22 ns	3,17 ns	1,72 *	17,60 **
Error	8	10,28	3,69	0,78	0,22	1,80
C.V.		29,14	36,04	25,6	15,15	23,41

C.V.= Coeficiente de variación

Fuente: Alvarez E, 2012; Elaborado por: Emma Alvarez/2014

ANEXO 4. Cuadrados medios de los análisis de variancia de Mg (meq / 100 g suelo) a diferentes profundidades en el sexto año de evaluación. CIPAL. 2012.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios				
		Mg, 0-5 cm (meq/100 g suelo)	Mg, 5-10 cm (meq/100 g suelo)	Mg, 10-15 cm (meq/100 g suelo)	Mg, 15-20 cm (meq/100 g suelo)	Mg, 0-20 cm (meq/100 g suelo)
Total	17					
Repetición	2	5,84 ns	0,28 ns	1,38 ns	0,06 ns	0,73 ns
Riego	1	9,39 ns	0,44 ns	0,57 ns	0,07 ns	0,67 ns
Error (a)	2	4,67	0,84	0,77	0,10	0,04 ns
Ca-Mg-K	2	15,30 *	2,40 ns	0,14 ns	0,60 **	2,93 **
Riego*Ca-Mg-K	2	2,07 ns	0,05 ns	0,20 ns	0,11 *	0,05 ns
Error	8	2,30	1,07	0,20	0,02	0,08
C.V.		48,01	69,96	45,22	17,24	17,88

C.V.= Coeficiente de variación

Fuente: Alvarez E, 2012; Elaborado por: Emma Alvarez/2014

ANEXO 5. Cuadrados medios de los análisis de variancia de K (meq / 100 g suelo) a diferentes profundidades en el sexto año de evaluación. CIPAL. 2012.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios				
		K, 0-5 cm (meq/100 g suelo)	K, 5-10 cm (meq/100 g suelo)	K, 10-15 cm (meq/100 g suelo)	K, 15-20 cm (meq/100 g suelo)	K, 0-20 cm (meq/100 g suelo)
Total	17					
Repetición	2	0,02 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns
Riego	1	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns
Error (a)	2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca-Mg-K	2	0,43 **	0,06 **	0,02 **	0,01 ns	0,06 **
Riego*Ca-Mg-K	2	0,02 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,01 ns
Error	8	0,02				0,00
C.V.		38,98	35,27	28,62	30,92	25,65

C.V.= Coeficiente de variación

Fuente: Alvarez E, 2012; Elaborado por: Emma Alvarez/2014

ANEXO 6. Análisis de la variancia para Ca, Mg y K foliar en el sexto año de evaluación. CIPAL. 2012.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios		
		Ca (%)	Mg (%)	K (%)
Total	17			
Repetición	2	0,010 ns	0,000 ns	0,020 ns
Riego	1	0,020 ns	0,000 *	0,000 ns
Error (a)	2	0,010	0,000	0,020
Ca-Mg-K	2	0,000 ns	0,000 *	0,000 ns
Riego*Ca-Mg-K	2	0,010 ns	0,000 ns	0,000 ns
Error	8	0,010	0,000	0,020
C.V.		10,20	14,53	19,67

C.V.= Coeficiente de variación

Fuente: Alvarez E, 2012; **Elaborado por:** Emma Alvarez/2014

ANEXO 7. Análisis financiero del sexto año.

TRAT			Prod	Precio	Ingreso	Plantas	Ingreso/ planta	Costo Operacional	B/C
			t/ha/año	USD/t	USD/ha	ha	USD	USD / planta	
a1	b1	r1	21,25	190,00	4036,69	143	28,23	17,28	1,63
	b2		15,38	190,00	2921,26	143	20,43	16,38	1,25
	b3		18,59	190,00	3531,53	143	24,70	16,36	1,51
a2	b1	r1	11,39	190,00	2164,37	143	15,14	10,46	1,45
	b2		20,61	190,00	3915,58	143	27,38	11,03	2,48
	b3		15,88	190,00	3017,44	143	21,10	10,24	2,06
a1	b1	r2	21,45	190,00	4075,50	143	28,50	17,30	1,65
	b2		27,09	190,00	5147,36	143	36,00	17,52	2,05
	b3		25,07	190,00	4762,51	143	33,30	16,99	1,96
a2	b1	r2	22,15	190,00	4208,44	143	29,43	11,51	2,56
	b2		13,38	190,00	2543,12	143	17,78	10,32	1,72
	b3		8,92	190,00	1695,11	143	11,85	9,56	1,24
a1	b1	r3	21,96	190,00	4171,73	143	29,17	17,35	1,68
	b2		27,25	190,00	5176,66	143	36,20	17,53	2,06
	b3		23,76	190,00	4513,62	143	31,56	16,87	1,87
a2	b1	r3	14,50	190,00	2755,31	143	19,27	11,12	1,73
	b2		14,98	190,00	2846,96	143	19,91	10,48	1,90
	b3		13,37	190,00	2539,49	143	17,76	9,99	1,78

Fuente: Alvarez, 2012

ANEXO 8. Cuadrados medios de los análisis de variancia de dos caracteres agronómicos en seis años de evaluación. CIPAL. 2012.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	
		Diámetro base del estipe (cm)	Altura de planta (cm)
Total	125		
Repetición	2	240,95 ns	339,15 ns
Riego	1	120,72 ns	76,22 ns
Error (a)	2	102,78	1443,47
Ca-Mg-K	2	242,18 ns	5618,63 *
Riego*Ca-Mg-K	2	141,49 ns	1020,35 ns
Error (b)	8	64,52	1015,74
Años	6	8888,43 **	194121 **
Riego*Años	6	19,56 ns	585,35 ns
Ca-Mg-K*Años	12	53,66 ns	657,28 ns
Años*Riego*Ca-Mg-K	12	49,76 ns	358,98 ns
Error (c)	72	38,65	612,76
C.V. (%)		9,37	14,18

C.V.= Coeficiente de variación

Fuente: Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012; Alvarez E, 2012;

Elaborado por: Emma Alvarez/2014

ANEXO 9. Cuadrados medios de los análisis de variancia de tres caracteres agronómicos en seis años de evaluación. CIPAL. 2012.

Fuente de variación	Cuadrados medios			
	Grados de libertad	Emisión Foliar (hojas año ⁻¹)	Diámetro de Corona Foliar (m)	Área Foliar (m ²)
Total	107			
Repetición	2	19,64 ns	2,10 ns	2607,28 ns
Riego	1	0,15 ns	0,02 ns	7422,24 ns
Error (a)	2	1,05	4,98	3292,28
Ca-Mg-K	2	7,93 *	2,09 ns	3770,35 **
Riego*Ca-Mg-K	2	0,87 ns	1,00 ns	1154,45 ns
Error (b)	8	1,46	1,03	317,73
Años	5	127,42 **	99,89 **	61589,59 **
Riego*Años	5	0,77 ns	0,24 ns	3421,70 **
Ca-Mg-K*Años	10	2,06 ns	0,08 ns	588,15 *
Años*Riego*Ca-Mg-K	10	0,27 ns	0,10 ns	1007,28 **
Error (c)	60	1,56	0,14	294,59
C.V. (%)		4,82	3,85	9,68

C.V.= Coeficiente de variación

Fuente: Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012; Alvarez E, 2012;

Elaborado por: Emma Alvarez/2014

ANEXO 10. Análisis de variancia de producción de la planta ($t\ ha^{-1}\ año^{-1}$) en seis años de evaluación. CIPAL. 2012.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Valor p
Total	89	2284,9			
Repetición	2	97,8	48,9	0,31	0,766 ns
Riego	1	178,0	178,0	1,11	0,4022 ns
Error (a)	2	320,1	160,0	12,52	
Ca-Mg-K	2	115,7	57,8	4,16	0,0578 ns
Riego*Ca-Mg-K	2	10,4	5,2	0,37	0,7005 ns
Error (b)	8	111,3	13,9	1,09	
Años	4	612,8	153,2	11,99	<0.0001 **
Riego*Años	4	124,2	31,1	2,43	0,0603 ns
Ca-Mg-K*Años	8	90,8	11,4	0,89	0,5333 ns
Años*Riego*Ca-Mg-K	8	10,6	1,3	0,1	0,9989 ns
Error (c)	48	613,3	12,8		

C.V (%): 21,17

C.V.= Coeficiente de variación

Fuente: Cevallos G, 2008; Ayala 2010; Parra J, 2010; Guerra M, 2011; Guañuna O, 2012; Alvarez E, 2012;

Elaborado por: Emma Alvarez/2014

ANEXO 11. Datos temperatura media (°C) en los años de estudio⁴.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOT	X-	° C Año	Años Estudio
2006	24,4	24,7	25,3	25,3	24,5	24	24	24,2	24,1	24,1	24,2	24,6	293,4	24,45	294,6	Jul 2006-Jun 2007
2007	25,2	25,1	25,2	25,4	24,3	24,2	23,8	23,1	23,4	23,2	23,6	23,6	290,1	24,18	287,2	Jul 2007-Jun 2008
2008	23,4	24,4	24,7	25,2	24,7	24,1	23,9	23,8	23,8	23,2	23,3	23,8	288,3	24,03	288,9	Jul 2008-Jun 2009
2009	23,9	24,5	24,9	25	24,7	24,1	24,2	24,2	24,2	24,2	24,7	24,8	293,4	24,45	297,7	Jul 2009-Jun 2010
2010	24,9	25,3	25,8	25,9	25,4	24,1	23,8	23,6	23,5	23,2	22,8	23,5	291,8	24,32	289,0	Jul 2010-Jun 2011
2011	24,1	24,9	25,1	25,2	24,9	24,4	24,3	23,6	23,9	23,1	23,2	24,2	290,9	24,24	291,1	Jul 2011-Jun 2012
2012	23,9	24,4	25,2	25,4	25,2	24,7	23,6	23,3	23,9	23,5	23,6	24,2	290,9	24,24		

ANEXO 12. Datos de precipitación (mm) en los años de estudio.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOTAL	X-	mm año de estudio	mm aplicado	TOTAL mm	Años Estudio
2006	262,2	482,4	670	466,3	191,7	89	18,4	97	48,9	25,1	374,9	53,2	2779,1	231,59	4112,5	66,5	4179,0	Jul 06- Jun 07
2007	562,9	633,9	774	620,3	665,9	238	90,3	19,6	29,1	17,2	32,4	95,3	3778,9	314,91	2979,6	122,5	3102,1	Jul 07- Jun 08
2008	823,7	639,7	502,7	477,6	162,5	89,5	118,4	71,8	150,2	54,9	25,8	71,7	3188,5	265,71	2527,1	71,4	2598,5	Jul 08- Jun 09
2009	573,4	298,7	442,3	453,5	257,4	9	39,2	21,4	6,8	8	7,7	470,6	2588	215,67	3425,1	213,0	3638,1	Jul 09- Jun 10
2010	365,7	605,3	716,6	673,5	449,9	60,4	87,7	72,2	45,2	13,7	99,4	405,4	3595	299,58	2813,2	-	2813,2	Jul 10- Jun 11
2011	789	219,2	447	423,6	91,6	119,2	113,5	29	65	48,3	3,6	117,4	2466,4	205,53	4250,1	205,4	4455,5	Jul 11- Jun 12
2012	688,8	705,7	989,6	573,5	694,3	221,4	14,5	6	5,5	73,7	42,9	28,8	4044,7	337,06				

⁴INAMHI Estación Santo Domingo del Instituto Nacional de Investigación Agropecuario (INIAP).

ANEXO 13. Datos heliofanía (hora/luz) en los años de estudio⁵.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOT	x-	hora/luz	Años Estudio
2008	22,8	69,4	86,1	128,6	78,4	45,8	54,7	60,2	45,9	39,7	59,9	42,4	733,9	61,16	708,8	Jul 2008-Jun 2009
2009	28,3	60,3	98,7	89,2	71,6	57,9	78,7	67,1	79,4	62,3	57,7	49,8	801,0	66,75	825,4	Julio 2009-Jun 2010
2010	56,2	61,7	83,9	122,1	67,8	38,7	44,4	64,9	46,5	40,9	26,9	30,5	684,5	57,04	739,7	Jul 2010-Jun 2011
2011	55,4	78,3	117,1	115,2	70,5	49,1	72,4	61,7	74,7	63,4	55,5	51,8	865,1	72,09	936,0	Jul 2011-Jun 2012
2012	61,6	97,1	105,1	110,0	112,7	70,0	54,5	45,6	84,2	47,9	32,6	41,4	862,7	71,89		

⁵INAMHI Estación Santo Domingo del Instituto Nacional de Investigación Agropecuario (INIAP).

ANEXO 14. Toma de muestras y etiquetado.



ANEXO 15. Etiquetas de la muestra Con riego x Ca:60%, Mg:30% y K:10%



ANEXO 16. Etiquetas de la muestra Con riego x Ca:70%, Mg:20% y K:10%



ANEXO 17. Etiquetas de la muestra Con riego x Ca:80%, Mg:15% y K:5%



ANEXO 18. Etiquetas de la muestra Sin riego x Ca:60%, Mg:30% y K:10%



ANEXO 19. Etiquetas de la muestra Sin riego x Ca:70%, Mg:20% y K:10%



ANEXO 20. Etiquetas de la muestra Sin riego x Ca:80%, Mg:15% y K:5%**ANEXO 21. Medición de la variable área foliar.**

