



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Sede Santo Domingo

DIRECCIÓN GENERAL DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN NUTRICIÓN VEGETAL

**DETERMINACIÓN DE NIVELES CRÍTICOS DE NUTRIMENTOS EN EL SUELO
Y FOLLAJE EN EL CULTIVO DE PALMITO (*Bactris gasipaes* Kunth.) EN LA
ZONA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS.**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el grado de
Magister en Nutrición Vegetal**

AUTOR:

Carlos Julio Quezada Crespo

DIRECTOR:

Manuel Danilo Carrillo Zenteno, Ph.D.

Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador

AGOSTO – 2015

DETERMINACIÓN DE NIVELES CRÍTICOS DE NUTRIMENTOS EN EL SUELO Y FOLLAJE EN EL CULTIVO DE PALMITO (*Bactris gasipaes* Kunth.) EN LA ZONA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS.

Manuel Danilo Carrillo Zenteno Ph.D. _____

DIRECTOR DE TESIS

APROBADO

Luz María Martínez Buñay M.Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL _____

Rodrigo Alberto Saquicela Rojas M.Sc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL _____

Edison Gastón Silva Cifuentes Ph.D.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL _____

Santo Domingo de los Tsáchilas, de Agosto del 2015.

CERTIFICACIÓN DEL ESTUDIANTE DE AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Carlos Julio Quezada Crespo, 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, el presente trabajo de investigación pertenece a la Universidad Tecnológica Equinoccial, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



Ing. Carlos Julio Quezada

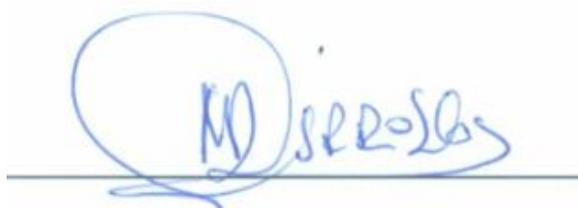
C.I.1716888399

INFORME DE APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

APROBACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de Director del Trabajo de Grado titulado “DETERMINACIÓN DE NIVELES CRÍTICOS DE NUTRIMENTOS EN EL SUELO Y FOLLAJE EN EL CULTIVO DE PALMITO (*Bactris gasipaes* Kunth.) EN LA ZONA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS”, presentado por el Señor Ingeniero Carlos Julio Quezada Crespo, previo a la obtención del Grado de **Magister en Nutrición Vegetal**, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y disposiciones emitidas por la Universidad Tecnológica Equinoccial por medio de la Dirección General de Posgrado para ser sometido a la evaluación por parte del Tribunal examinador que se designe.

Dado en la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas, a los días del mes de Agosto del 2015.



Manuel Danilo Carrillo Zenteno Ph.D.

CI. 0102294378

Agradecimiento

A Dios por brindarme sabiduría e inteligencia para desarrollar el presente trabajo, a mi familia por su apoyo incondicional; al Ph.D. Manuel Carrillo Z. Director de la presente tesis, por su asesoramiento técnico apropiado sobre el desarrollo del proyecto; a INAEXPO Industria Agrícola Exportadora del grupo Pronaca, por haber financiado todos los análisis de laboratorio y facilitar los sitios de muestreo; al Ph.D. Edison Silva y a la Dra. Luz María Martínez por su dedicación y contribución en la revisión del documento y su apoyo moral en la realización del presente proyecto científico.

Carlos Julio Quezada Crespo

Dedicatoria

A Dios, quien inspiró a mi espíritu para la conclusión de esta tesis, a mis amados padres quienes me brindaron educación, apoyo y consejos para triunfar en la vida, a mi amada esposa Sandrita Gissela e hijos Justin Alejandro y Carlos Daniel por su apoyo incondicional y por ser la inspiración de mi vida. Con mucho cariño y amor para todas las personas que hicieron posible que yo pueda lograr mis sueños.

Carlos Julio Quezada Crespo

ÍNDICE GENERAL	PÁGINAS
PRELIMINARES.....	i
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes.....	3
2.2. Fundamentaciones.....	5
2.2.1. Absorción de nutrientes en palmito.....	5
2.2.2. Características físicas de los suelos donde se desarrolla el palmito.....	6
2.2.3. Características químicas de los suelos donde se desarrolla el palmito.....	7
2.2.4. Prácticas de fertilización en etapa de vivero.....	8
2.2.5. Prácticas de fertilización en etapa de desarrollo.....	9
2.2.6. Prácticas de fertilización de palmito en etapa de producción.....	9
2.2.7. Síntomas de deficiencias nutricionales en palmito.....	10
2.2.8. Calibración de suelos y niveles críticos.....	11
2.2.9. Determinación del nivel crítico mediante el método de Cate y Nelson.....	12
2.2.10. Niveles críticos de Mg en el suelo y follaje de palma aceitera (<i>Elaeis guineensis</i>) a partir de información local en Costa Rica...	13
2.2.11. Relaciones Ca:Mg:K en palma aceitera.....	14
CAPÍTULO III.....	16
MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1. Sitio del estudio.....	16
3.1.1. Características climáticas.....	16
3.1.2. Características edáficas.....	17
3.2. Factores, tratamientos y variables en estudio.....	17
3.2.1. Factores en estudio y tratamientos.....	17
3.2.2. Variables en estudio.....	18
3.2.3. Determinación de la relación Ca:Mg:K ideal para el cultivo de palmito.....	19
3.3. Métodos estadísticos.....	19
3.3.1. Determinación de los niveles críticos del suelo y follaje.....	19
3.4. Manejo del Experimento.....	20

3.4.1. Recopilación de la Información.....	20
3.4.2. Identificación de sectores y toma de muestras.....	21
3.4.3. Análisis de laboratorio.....	21
CAPÍTULO IV.....	21
RESULTADOS.....	21
4.1. Determinación de los niveles críticos en el suelo.....	22
4.2. Determinación de la relación catiónica Ca:Mg:K ideal en el suelo para el cultivo de palmito.....	27
4.3. Determinación de los niveles críticos de los nutrientes a nivel foliar..	35
4.4. Determinación de la relación catiónica Ca:Mg:K a nivel foliar para el cultivo de palmito.....	34
CAPÍTULO V.....	37
CONCLUSIONES.....	37
RECOMENDACIONES.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	38
ANEXOS.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Características químicas de suelo óptimas para palmito en Costa Rica.....	4
Tabla 2.2. Concentración usual de nutrimentos en hojas de palmito.....	4
Tabla 2.3. Tabla preliminar de interpretación de análisis foliar para Palmito.....	5
Tabla 2.4. Extracción de nutrientes de palmito en Guapiles, Costa Rica..	6
Tabla 2.5. Textura del suelo recomendado para el establecimiento de plantaciones de palmito.....	7
Tabla 2.6. Recomendación de fertilización en etapa de vivero.....	8
Tabla 2.7. Dosis de fertilización para palmito en etapa de desarrollo, en un suelo de fertilidad moderada.....	9
Tabla 3.1. Características agroclimáticas del sitio de estudio.....	16
Tabla 3.2. Taxonomía de los suelos de los sitios de estudio.....	17
Tabla 3.3. Modelos utilizados para encontrar los niveles críticos en el suelo y en el follaje.....	20
Tabla 4.1. Ecuaciones y coeficientes de determinación entre los valores de pH, MO y contenidos de nutrientes en el suelo, con el rendimiento relativo (%)......	27
Tabla 4.2. Coeficientes de determinación entre las bases Ca, Mg y K del suelo y el 90% del rendimiento relativo potencial.....	28
Tabla 4.3. Relación catiónica Ca:Mg:K ideal en el suelo, para el cultivo de palmito en andisoles de Santo Domingo de los Tsáchilas..	28
Tabla 4.4. Ecuaciones y coeficientes de determinación, entre las concentraciones de los nutrientes en el follaje, con el rendimiento relativo.....	34
Tabla 4.5. Coeficientes de determinación entre las bases K, Ca y Mg del follaje y el 90% del rendimiento relativo potencial.....	35
Tabla 4.6. Relación catiónica K:Ca:Mg ideal, a nivel foliar en el cultivo de palmito, en andisoles de Santo Domingo de los Tsáchilas.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Relación continúa entre el rendimiento relativo y el análisis de suelos. (Adaptado de Ron, 2003).....	11
Figura 2.2. Distintas posiciones de los cuadrantes para Cate y Nelson considerando el rendimiento relativo, tomando el NC correcto de 10 mg/kg.....	13
Figura. 4.1. Relación entre el rendimiento relativo y los valores de pH, MO y contenidos de macronutrientes en andisoles de Santo Domingo de los Tsáchilas, cultivados con palmito.....	23
Figura. 4.2. Relación entre el rendimiento relativo y contenidos de micronutrientes y los valores de Al y % de Saturación de Al, en andisoles de Santo Domingo de los Tsáchilas, cultivados con palmito.....	26
Figura 4.3. Relación entre el rendimiento relativo y la concentración de macronutrientes a nivel foliar, en el cultivo de palmito en Santo Domingo de los Tsáchilas.....	31
Figura 4.4. Relación entre el rendimiento relativo y la concentración de micronutrientes a nivel foliar, en el cultivo de palmito en Santo Domingo de los Tsáchilas.....	33

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Esquema de la metodología utilizada en la investigación.....	44
Anexo 2. Características de los suelos usados en la investigación, pertenecientes al orden andisoles, Producción y rendimiento relativo del palmito, en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas.....	46
Anexo 3. Porcentaje de saturación de Al de diferentes muestras de suelos, pertenecientes al orden andisoles, dedicados al cultivo de palmito, en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas.....	47
Anexo 4. Resultado de análisis foliares de plantas de palmito, creciendo en suelos pertenecientes al orden andisoles, dedicados al cultivo comercial de palmito, en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas.....	48
Anexo 5. Niveles críticos de los nutrientes y los valores de pH y MO en andisoles de Santo Domingo de los Tsáchilas, cultivados con palmito, resultado de esta investigación.....	49
Anexo 6. Niveles críticos de los nutrientes a nivel foliar en el cultivo de palmito, en Santo Domingo de los Tsáchilas, resultantes en esta investigación.....	50
Anexo 7. Tabla de interpretación ¹ de análisis foliar para palmito, empleado por el laboratorio del INIAP Estación Experimental Santa Catalina	51
Anexo 8. Autorización para uso de resultados de análisis emitido por INAEXPO	52



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

“Determinación de niveles críticos de nutrimentos en el suelo y follaje en el cultivo de palmito (*Bactris gasipaes* Kunth.) en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas”

Autor: Carlos Julio Quezada Crespo

Director: Ph.D. Manuel Danilo Carrillo Zenteno

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el segundo semestre del 2014, realizando la tabulación y análisis de datos de muestras de suelos y foliares tomados en plantaciones comerciales de palmito asociadas a la empresa INAEXPO, en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas. Los objetivos fueron determinar los niveles de nutrientes adecuados en el suelo y follaje para el cultivo de palmito y establecer la relación catiónica Ca:Mg:K ideal en el suelo, para obtener rendimientos altos. Una vez establecidos los resultados comparativos entre el rendimiento relativo y cada elemento nutritivo, se procedió a determinar los niveles críticos de los elementos, mediante modelos de regresión en el programa CurveExpert. Se consiguió como resultado los niveles críticos del suelo para pH 6,3; MO 6,5%; 12,3 mg/dm³ de P; 5,1 cmol (+)/dm³ Ca; 0,97 cmol (+)/dm³ Mg; 0,67 cmol (+)/dm³ K; 7,5 mg/dm³ S; 1 cmol (+)/dm³ Al; Saturación de Al 20%; 7,5 mg/dm³ S; 161 mg/dm³ Fe; 10,6 mg/dm³ Mn; 6,3 mg/dm³ Cu; 4,4 mg/dm³ Zn y 0,51 mg/dm³ B. La relación catiónica Ca/Mg/K ideal en el suelo, para obtener rendimientos altos fue 76:14:10 y los parámetros preliminares de interpretación de análisis foliar fueron: 3,9 dag/kg N; 0,30 dag/kg P; 1,4 dag/kg K; 0,67 dag/kg Ca; 0,27 dag/kg Mg; 0,26 dag/kg S; 124 mg/kg Fe; 42 mg/kg Mn; 25 mg/kg Cu; 36 mg/kg Zn y 12,4 mg/kg B. Al analizar los resultados se determinó que los niveles críticos encontrados, se ajustaron positivamente con el rendimiento relativo del cultivo.

Descriptores: niveles críticos, análisis de suelo y foliar, relación catiónica, Ca:Mg:K.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

“Determination of critical levels of nutrients in the soil and foliage in the cultivation of palm (*Bactris gasipaes* Kunth .) In the area of Santo Domingo de los Tsáchilas”

Autor: Carlos Quezada
Director: Ph.D. Manuel Carrillo

ABSTRACT

The research was carried out the second semester in 2014, it was done the tabulation and analysis of data from samples of soil and foliar which were taken in commercial plantations of palmito associated with the company INAEXPO, in Santo Domingo de los Tsáchilas. The objectives were to determine the levels of proper nutrients in the soil and foliage for the cultivation of palmito and establish the cationic relationship Ca:Mg:K ideal on the ground, in order to obtain high yields. Once the comparative results were established between the relative performance and each nutrient, it was determined the critical levels of the items, by regression models in the Curve Expert program. It was achieved as a result the critical levels of the soil for pH 6,3; MO 6,5%; 12,3 mg/dm³ de P; 5,1 cmol (+)/dm³ Ca; 0,97 cmol (+)/dm³ Mg; 0,67 cmol (+)/dm³ K; 7,5 mg/ dm³ S; 1 cmol (+)/dm³ Al; The; saturation of 20 %; 77,5 mg/dm³ S; 161 mg/dm³ Fe; 10,6 mg/dm³ Mn; 6,3 mg/dm³ Cu; 4,4 mg/dm³ Zn y 0,51 mg/dm³ B. The cationic relationship Ca/Mg/K ideal on the ground, in order to obtain high yields was 76:14:10 and the preliminary parameters of interpretation of the foliar analysis were: 3,9 dag/kg N; 0,30 dag/kg P; 1,4 dag/kg K; 0,67 dag/kg Ca; 0,27 dag/kg Mg; 0,26 dag/kg S; 124 mg/kg Fe; 42 mg/kg Mn; 25 mg/kg Cu; 36 mg/kg Zn y 12,4 mg/kg B. After analyzing the results, it was determined that critical levels were positively adjusted with the relative performance of the crop.

Key words: levels critical, analysis of soil and leaf, cationic relationship, Ca:Mg:K.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Actualmente, el Ecuador es el primer exportador mundial de palmito en conserva, cubriendo cerca del 66% de la demanda global, debido a que sus zonas tropicales presentan condiciones agro-climáticas ideales para la producción del cultivo y por tanto, amerita tener interés en que se cultive correctamente (INAEXPO, 2009).

El palmito es un cultivo con gran potencial para la diversificación agrícola en las zonas del noroccidente de Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas, debido a su rusticidad y capacidad de adaptación a estas zonas. En el país, el manejo del suelo y la nutrición son aspectos que han recibido menos atención y por esta razón no existe información referencial o una guía oficial de interpretación de análisis, donde se detalle los niveles críticos de nutrimentos en el suelo y en el follaje.

Los niveles referenciales utilizados en el país para el manejo de la nutrición, provienen de investigaciones realizadas en plantaciones de Costa Rica; los mismos que deben ser ajustados a las condiciones de suelos y climas del país, considerando el costo – beneficio. De acuerdo con Molina (1999), la información disponible sobre este tema es escasa y poco concluyente.

La falta de investigación local, ha provocado que el productor de palmito use en muchos de los casos cantidades exageradas de fertilizantes, sin que eso implique necesariamente mejoras sustanciales en la producción del cultivo; al contrario, ha repercutido en la elevación de los costos de producción y el deterioro de la fertilidad del suelo.

El estudio de los niveles críticos de los elementos en el suelo y tejidos, es importante para estimar su biodisponibilidad y el estado nutricional de las plantas, según sus concentraciones. De esta manera, el producto final de la investigación serán valores que servirán de guía para interpretar los análisis de suelo y foliar y ser usadas para recomendaciones de fertilización, acordes a la zona de cultivo y mejorar la economía del productor.

Por lo anteriormente expuesto, la presente investigación tuvo como objetivos:

Objetivo general:

Establecer los niveles críticos de nutrimentos en el suelo y en el follaje, a partir de información de plantaciones comerciales dedicadas al cultivo de palmito (*Bactris gasipaes* Kunth), en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Objetivos específicos:

- Determinar los niveles de nutrientes adecuados en el suelo y foliar, para el cultivo de palmito.
- Determinar la relación catiónica Ca:Mg:K ideal en el suelo y foliar, para obtener rendimientos altos.

Hipótesis

Ha₁. Existe relación entre los valores disponibles de nutrientes en el suelo y los rendimientos del palmito.

Ho₁. No hay relación entre los valores disponibles de nutrientes en el suelo y los rendimientos del palmito

Ha₂. Existe relación entre las concentraciones de nutrientes presentes en los tejidos foliares y los rendimientos del palmito.

Ho₂. No hay relación entre las concentraciones de nutrientes presentes en los tejidos foliares y los rendimientos del palmito.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1 Antecedentes.

En Costa Rica, Molina (1999) determinó las características óptimas de suelo para el cultivo de palmito, y la concentración de nutrimentos en las hojas de acuerdo a la base de datos de análisis del Laboratorio de Suelos del CIA (Centro de Investigaciones Agronómica), realizados en diferentes plantaciones de palmito del país.

Según el mismo autor, este cultivo se puede adaptar a una gama de suelos, pero prefiere los de textura franca a franco-arcillosa, con estructura permeable que permita un buen drenaje, debido a que este cultivo no tolera niveles freáticos superficiales; además, requiere altos contenidos de materia orgánica, ligera acidez y topografía plana. En la Tabla 2.1., se observan las cantidades ideales de nutrimentos para el cultivo de palmito, obtenidas en suelos de Costa Rica.

Para saber si la aplicación del fertilizante químico influye positivamente sobre el crecimiento de la planta, es necesario complementar el análisis químico del suelo con el foliar, para lo cual Molina (1999) recomienda que la muestra se tome de la hoja madura más joven, cuya ubicación se encuentra en el tercio medio según la filotaxia del cultivo. En general se recomienda tomar la tercera hoja de arriba hacia abajo, colectando la sección central de ella y descartando el raquis o vena central. La muestra debe provenir de 15 a 20 hojas de plantas diferentes.

De acuerdo a la base de datos de análisis foliar que utiliza el laboratorio de suelos del Instituto de Investigaciones Agronómicas en Costa Rica la concentración usual se presenta en la Tabla 2.2.

Tabla 2.1. Características químicas óptimas de suelo para palmito en Costa Rica

Características *	Unidad	Valor óptimo
pH (H ₂ O)		5,5 a 6,0
Materia orgánica	(%)	> 5,0
Fósforo	cmol (+)/dm ³	> 10
Calcio	cmol (+)/dm ³	> 4,0
Magnesio	cmol (+)/dm ³	> 1,0
Potasio	cmol (+)/dm ³	> 0,3
Aluminio	cmol (+)/dm ³	< 1,0
Saturación de Al	(%)	< 30
Azufre	mg/dm ³	> 10
Hierro	mg/dm ³	10 a 50
Manganeso	mg/dm ³	5 a 50
Cobre	mg/dm ³	1 a 10
Zinc	mg/dm ³	3 a 15
Boro	mg/dm ³	0,5 a 2

Fuente: Molina, 1999.

Tabla 2.2. Concentración usual de nutrimentos en hojas de palmito

Macroelementos (dag/kg)		Microelementos (mg/kg)	
N:	2,5 a 4,0	Fe:	100 a 200
P:	0,15 a 0,3	Cu:	8 a
			15
K:	0,80 a 1,5	Zn:	15 a
			25
Ca:	0,20 a 0,5	Mn:	50 a
			200
Mg:	0,20 a 0,3	B:	10 a
			25

Fuente: Mora & Gainza (1999).

Con estos datos, Molina (1999) manifiesta que no existe una guía de interpretación de análisis foliar en palmito; no obstante, basado en su experiencia, adquirida en

Costa Rica y Brasil y la disponible en la literatura, el autor presenta una tabla preliminar de interpretación (Tabla 2.3), que eventualmente deberá ser mejorada conforme se realicen nuevas investigaciones.

Tabla 2.3. Tabla preliminar de interpretación de análisis foliar para palmito

Elemento	Deficiente	Bajo	Suficiente	Alto
N (dag/kg)	1,4	< 2,5	2,5 a 3,5	>3,5
P (dag/kg)	0,06	< 0,1	0,1 a 0,3	> 0,3
K (dag/kg)	0,5	< 1,0	1,0 a 2,0	> 2,0
Ca (dag/kg)	0,15	< 0,4	0,4 a 0,6	> 0,6
Mg (dag/kg)	0,2	< 0,25	0,25 a 0,4	> 0,4
S (dag/kg)	0,07	< 0,15	0,15 a 0,3	> 0,3
Fe (mg/kg)	-	< 50	50 a 200	> 200
Mn (mg/kg)	-	< 60	60 a 200	> 200
Cu (mg/kg)	-	< 5	5 a 15	> 15
Zn (mg/kg)	-	< 15	15 a 50	> 50
B (mg/kg)	-	< 10	10 a 40	> 40

Fuente: Molina (1999).

2.2 Fundamentaciones

Según Mora & Gainza (1999) existen factores importantes de la producción agronómica del cultivo de palmito (*Bactris gasipaes* Kunth) que han sido poco estudiados, por tal razón no existe información referencial sobre el manejo de la nutrición del cultivo, considerando que en los últimos años ha crecido la demanda internacional.

2.2.1. Absorción de nutrientes en palmito

El palmito absorbe gran cantidad de nutrientes, no obstante gran parte de estos son reciclados nuevamente al suelo mediante los residuos de cosecha (hojas, tallos y cáscaras). Un estudio conducido en Costa Rica por Herrera (1989) en la zona Atlántica, estableció que el palmito produce 19,5 t/ha/año de materia seca en follaje y cáscaras, que son recicladas al campo y solamente 1,76 t/ha/año de palmito neto

son exportados del campo. Estos resultados fueron estimados para un rendimiento potencial de 9600 tallos/ha/año.

En la Tabla 2.4, se detallan las cantidades de nutrientes extraídos por el cultivo, donde se observa que el nitrógeno es el elemento más absorbido, debido a que tiene mayor efecto en el desarrollo y productividad del palmito; una producción total de biomasa seca de 19,5 t/ha/año, extrae 531 kg de nitrógeno. El potasio es el segundo elemento en orden de extracción, presentando una absorción total de 248 kg/ha. La extracción de nutrientes en orden descendente, es la siguiente: N>K>Ca>Mg>P>Mn>Fe>Zn>Cu, siendo los residuos de tallos, hojas y raíces donde se concentra la mayor cantidad de nutrientes removidos por la cosecha y una cantidad menor extraída por el palmito neto. De tal manera, que al diseñar los programas de fertilización en el cultivo, es muy importante considerar el reciclaje de los nutrientes (Bertsch, 2003).

Tabla 2.4. Extracción de nutrientes por secciones de palmito, en Costa Rica

Parte de la planta	Peso seco t/ha/año	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
Biomasa §	19,5	503	33,1	217,3	60,1	39,1	1,8	0,163	0,204	0,189
Palmito bruto §§	1,7	28	4,8	31,0	4,7	3,9	0,03	0,021	0,050	0,085
Biomasa Total	21,2	531	37,9	248,3	64,8	43,0	1,93	0,184	0,254	0,274

§ Follaje más residuos de cosecha, §§ Cáscaras más palmito neto. Valores estimados de una población de 3200 pl/ha, con un rendimiento de 9600 palmitos/ha/año. Fuente: BERTSCH (2003).

2.2.2. Características físicas de los suelos donde se desarrolla el palmito.

Molina (1999) manifiesta que el palmito se puede adaptar a una gama de suelos, pero prefiere los de textura franca a franco-arcilloso, y estructura permeable que permitan un buen drenaje, debido a que este cultivo no tolera niveles freáticos superficiales. Además con altos contenidos de materia orgánica, de ligera acidez y topografía plana.

Según Pérez (1998) en un estudio que se realizó en Perú en la localidad de Yurimaguas, el cultivo de palmito se recomienda en suelos cuyo rango textural se encuentre entre los valores que se muestran en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Textura del suelo recomendado para el establecimiento de plantaciones de palmito

Textura	Arcilla	Limo	Arena
	-----dag/kg-----		
Franco arenoso	100	250	650
Franco	150	400	450
Franco arcilloso	280	370	350

Fuente: Pérez (1998).

2.2.3. Características químicas de los suelos donde se desarrolla el palmito.

Villachica (1996) comenta que el palmito requiere para su desarrollo y producción, una cantidad importante de nutrientes, que a menudo no pueden ser suministrados totalmente por el suelo. Los nutrimentos absorbidos por el cultivo deben ser remplazados para conservar el nivel de fertilidad del suelo y mantener la productividad y por ende altos rendimientos. Para conseguir este propósito es necesario el uso racional de fertilizantes y enmiendas.

Según Ortega (1996), en Costa Rica los suelos dedicados al cultivo de palmito, son poco fértiles y de reacción ácida, donde predominan las arcillas caoliníticas y los sesquióxidos de Fe y Al. Estos suelos presentan baja capacidad de intercambio catiónico, son dependientes del pH, encontrando mejores rendimientos en suelos ligeramente ácidos y medianamente fértiles.

No se cuenta con este tipo de información para los suelos del Ecuador, por lo que realiza la realización de este trabajo, donde se proyecta obtener niveles guía.

2.2.4. Prácticas de fertilización en la etapa de vivero

Molina (1999) señala que el manejo apropiado de la fertilización en la etapa de vivero debe certificar la producción de plantas vigorosas, sanas, con un buen sistema radicular y un follaje bien desarrollado. Esta etapa empieza por la selección de un suelo con buenas características físicas (textura franco a franco arenoso, suelto, poroso) y de fertilidad (buen contenido de materia orgánica, bases de intercambio y sin problemas de acidez), siendo la incorporación de residuos orgánicos, una opción viable para mejorar las características físicas y químicas del suelo, utilizado en viveros.

Durante esta etapa el N y el P son los elementos más indispensables para garantizar el buen desarrollo de las plantas, el N promueve el crecimiento vegetativo rápido y la formación de una apropiada área fotosintética, por otro lado el P favorece el crecimiento del sistema radicular. La etapa de almácigo habitualmente comprende un período de seis a ocho meses, lapso en el cual permite realizar tres o cuatro aplicaciones de fertilizantes, dependiendo de la fertilidad del suelo y del estado nutricional de las plantas (Guzmán, 1985).

Para garantizar un buen desarrollo de las plantas, la fertilización edáfica se debe completar con fertilizantes foliares, utilizando fuentes que suministren macro y micro elementos, dado que las plantas de vivero responden muy bien la fertilización foliar. En la Tabla 2.6, se presenta un programa de fertilización en etapa de vivero que puede servir como guía (López & Sancho, 1990).

Tabla 2.6. Fertilización para palmito, en etapa de vivero

Época	Fuente	Dosis (kg/ha)	Nutrientes aplicados, kg/ha		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Siembra	10-30-10	300	30	90	30
2 meses	Nitrato de amonio	200	67	-	-
4 meses	Nitrato de amonio	200	67	-	-
TOTAL		700	164	90	30

Fuente: Molina (1999).

2.2.5. Prácticas de fertilización en etapa de desarrollo.

Después de la siembra, durante el primer año de cultivo, el palmito requiere de un rápido crecimiento para asegurar el establecimiento definitivo. Para ello es necesario el N, al igual que un alto suministro de P, si el suelo es deficiente en este elemento. Para suelos de fertilidad media a alta, se puede suministrar en mezcla fosfato diamónico DAP (10-30-10) más nitrato de amonio. Las fuentes de fertilizantes a emplearse deberán estar basadas en el resultado del análisis de suelos. En la Tabla 2.7, se presentan las dosis y fuentes de fertilizante para un suelo de fertilidad moderada (Molina, 1999).

Tabla 2.7. Dosis de fertilización para palmito en etapa de desarrollo, en un suelo de fertilidad moderada

Aplicación	Fuente	Dosis kg/ha	----- Nutrientes aplicados, kg/ha -----				
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	B ₂ O ₃
Siembra	10-30-10	300	30	90	30	-	-
Segunda	Nitrato de amonio*	150	50	-	-	-	-
Tercera	18-5-15-6-2 **	250	45	12	38	5	5
Cuarta	Nitrato de amonio	150	50	-	-	-	-
Total		850	175	102	68	5	5

* El nitrato de amonio puede ser sustituido por urea; ** Las fórmulas se pueden sustituir en base a los requerimientos nutricionales

Fuente: Molina (1999)

2.2.6. Prácticas de fertilización de palmito en etapa de producción

El programa de fertilización en cultivos en producción depende de la fertilidad del suelo y de las fuentes a utilizarse. Para establecer que fuentes emplear, se debe considerar el análisis de suelos. En la actualidad, las recomendaciones de fertilización son basadas en los requerimientos generales del cultivo, que son de 250 a 300 kg/ha N; 50 a 100 kg/ha P₂O₅; 50 a 200 kg/ha K₂O; 40 a 80 kg/ha MgO; 40 a 60 kg/ha S. Estas cantidades pueden variar, conforme se realicen nuevas investigaciones sobre la nutrición del cultivo (Ares et al., 2002).

2.2.7. Síntomas de deficiencias nutricionales en palmito

Un estudio realizado en Brasil por La Torraca et al. (1984), permitió establecer los síntomas de deficiencia nutricionales en plantas jóvenes de palmito, Así mismo, en base a las observaciones realizadas en cultivos comerciales de Costa Rica, la descripción de los síntomas es la siguiente:

Nitrógeno: La carencia de N limita el desarrollo, las hojas bajas (viejas) presentan coloración verde claro con tendencia a amarillarse en las puntas y posteriormente tienden a necrosarse y mueren. De forma general, la deficiencia de N se puede observar cuando la concentración en el tejido es menor a 2 dag/kg. Estos síntomas, se pueden confundir cuando hay un mal drenaje y pudriciones en el sistema radical causadas por microorganismos patógenos.

Fósforo: La deficiencia de P paraliza el crecimiento de la planta, produce enanismo, reduce el volumen de raíces y hasta la actualidad, no existen investigaciones que reporten otros síntomas.

Potasio: Los síntomas de deficiencias se presentan con una clorosis o amarillamiento de los bordes de las hojas viejas, que posteriormente tienden a necrosarse con mayor intensidad en las puntas de la lámina foliar. En los folíolos de las hojas más viejas (adultas) aparecen puntos cloróticos o amarillos claros, que posteriormente se tornan de color anaranjado a medida que la deficiencia se intensifica.

Calcio: Plantas deficientes de Ca, presentan hojas nuevas con una coloración verde clara, ondulada, plegadas y con ausencia de espinas en la lámina foliar.

Magnesio: Esta deficiencia se presenta con una clorosis o amarillamiento intervenal en las hojas viejas, que inicia desde la punta de la lámina foliar hasta la base. Al intensificarse los síntomas a hojas intermedias, las hojas viejas pierden casi totalmente la clorofila, y se muestran quebradizas. La deficiencia de Mg ocurre con mayor frecuencia en suelos ácidos desarrollados bajo alta pluviosidad.

Azufre: Los síntomas se caracterizan por tener un color verde pálido en la punta de las hojas nuevas.

Boro: En hojas viejas se presenta una coloración verde más intensa y una leve ondulación de la lámina foliar, en hojas nuevas aparece un doblamiento abrupto del foliolo junto al raquis con tendencia a unirse por su ápice.

2.2.8. Calibración de suelos y niveles críticos

Al realizar la calibración de un análisis de suelo, para relacionar la cantidad de un elemento con el desarrollo y producción de la planta, es de suma importancia su interpretación para predecir la respuesta a la fertilización. De manera general, el incremento de rendimiento será menor cuanto mayor sea el contenido original del elemento en el suelo, considerado por el análisis químico, esta relación a menudo se representa con una función continua exponencial (Ron, 2003; Steel y Torrie, 1992). Así mismo, si se utiliza el rendimiento relativo (RR) del cultivo sin fertilizar expresado como porcentaje del rendimiento máximo, la curva tomará una forma inversa (Figura 2.1).

Para interpretar de mejor forma los análisis de suelos y foliares, resulta útil conocer los niveles de referencia que determinen clases de fertilidad.

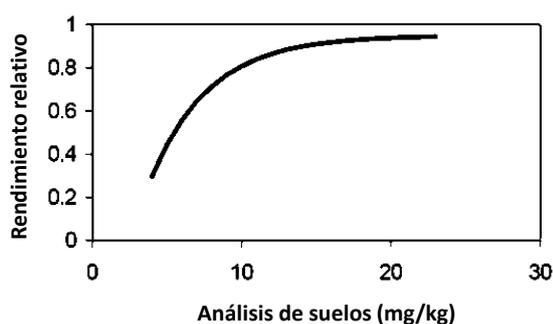


Figura 2.1. Relación continua entre el rendimiento relativo y el análisis de suelos. (Adaptado de Ron, 2003)

2.2.9. Determinación del nivel crítico mediante el método de Cate y Nelson

Según Cate & Nelson (1971) el nivel crítico (NC) indica que por debajo de este valor se torna críticamente limitante un determinado elemento y la respuesta a la fertilización será rentable. El método gráfico de estos autores se fundamenta en la prueba de asociación del cuadrante de Olmsted y Tukey, dando una ponderación específica a los extremos de la variable.

Según estos mismos autores (Cate & Nelson, 1971), “al emplear este método implica la maximización de puntos en dos cuadrantes positivos opuestos, de igual forma nos sirve para determinar gráficamente una correlación”. Al existir una asociación significativa entre variables, los cuadrantes se pueden ubicar en innumerables posiciones para cumplir con la maximización de puntos en dos cuadrantes opuestos (Figura 2.2). Esto se da, cuando las variables están correlacionadas. Hay que considerar, que al calibrar con este método, se supone que debe existir una sola posición de los cuadrantes. Es así, que la línea paralela al eje y, define específicamente el nivel crítico.

Para obtener un buen ajuste, se debe delimitar la posición de la línea horizontal paralela al eje x, en un área cercana al promedio de las respuestas, ósea de los valores de “y” así como de la mediana, que es el parámetro utilizado en la prueba de Olmsted y Tukey. Es así, que al emplear este método gráfico, por lo general coincide con el análisis de varianza en la determinación de dos clases dentro una población en estudio. Para la determinación del NC es fundamental ubicar correctamente la línea horizontal (Figura. 2.2). Al calibrar experimentos en el campo, con niveles adecuados de fertilidad, corresponde a una categoría intermedia, habitualmente no mayor o igual al 90 % del rendimiento relativo potencial (Steel & Torrie, 1992).

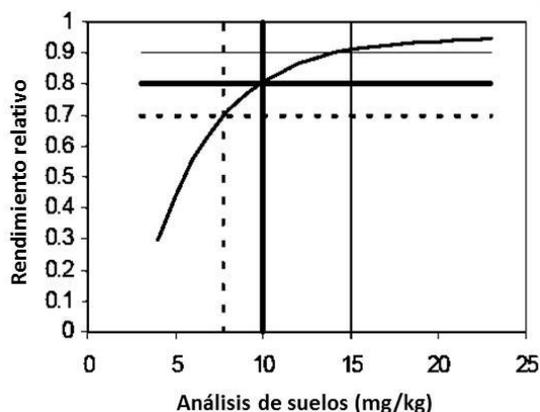


Figura 2.2. Distintas posiciones de los cuadrantes para Cate y Nelson considerando el rendimiento relativo, tomando el NC correcto de 10 mg/kg.

2.2.10. Niveles críticos de Mg en el suelo y follaje de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) a partir de información local en Costa Rica.

A partir de información comercial y experimental de plantaciones asociadas a la compañía Palma Tica S.A. en el Pacífico Central y Sur de Costa Rica, se recopiló información de los últimos 10 años, con el objeto de estimar los niveles críticos para la concentración de Mg en el follaje de palma aceitera y en el suelo. Se elaboró una base de datos con los rendimientos relativos y la concentración de Mg en las plantas, considerando las variables de productividad (grupo productivo) y concentración de nutrimentos. Para permitir el manejo de la información se elaboraron gráficos en Excel. En base a estos gráficos y el método de Cate y Nelson, se obtuvo una primera aproximación para el NC-Mg foliar (0,20 dag/kg) y se identificó que el cociente Mg/CT (cationes totales) > 0,25 está asociado a rendimientos menores a 25 t REF/ha (Ramírez, 2008).

Al aplicar el método gráfico de Cate y Nelson a los límites de confianza de los promedios ajustados de Mg en cada grupo en estudio, se identificó una concentración de Mg de (0,21 a 0,25 dag/kg). Con el procedimiento estadístico GLM se generó un modelo ($R^2=0,86$) que permitió estimar el NC – Mg foliar, en las diferentes combinaciones de suelos, material vegetativo y CT. El suelo con menos problemas de drenaje (andisol) se asoció con mayores valores de CT en el follaje, y un NC variable de Mg más alto (0,27 dag/kg), en los suelos de orden inceptisoles

compartieron un NC promedio de 0,20 dag/kg. El material De x Ek presentó un NC variable menor (0,19 dag/kg) que el material De/Tan x Ek (0,25 dag/kg).

Al analizar los resultados, se determinó una relación positiva entre la concentración de Mg en el suelo y la concentración foliar del mismo. En los suelos del orden andisoles se determinó un NC de 3 cmol+/dm³. En los suelos del orden inceptisoles, se identificaron ámbitos óptimos de concentración relativa de Mg en el suelo de 15–25 % Sat-Mg, Ca/Mg de 4,0–5,5 y Mg/K de 6–12.

2.2.11. Relaciones Ca:Mg:K en palma aceitera

La mayoría de las reacciones de los cationes Ca, Mg y K, en suelos donde se cultiva palma africana, dependen de las proporciones en que estos iones intercambiables se encuentren en el complejo de cambio. Por esta razón, es indispensable cuando se tienen los resultados analíticos, calcular algunas relaciones entre ellos que indican la manera como se comportan con respecto a la nutrición de las plantas (León, 1998).

Ayala (2008) menciona que para el caso de los cationes potasio, calcio y magnesio, no se puede decir que el problema nutricional del cultivo de palma radica principalmente en su deficiencia, sino más bien en un elevado desbalance entre estos tres cationes. Se aprecia un exceso de calcio con relación al magnesio y, en muchos casos, un exceso de magnesio con relación del potasio, lo que se ha agudizado en muchas áreas, por no manejar su fertilización en base a un análisis de suelos y/o foliar.

Según Padilla (2001), no debe existir interpretación independiente de cationes en forma única, se debe interpretar de forma independiente y en conjunto ya que presentan relaciones, dependiendo del predominio de un catión sobre otro, que ocasionan antagonismos y sinergismos, principalmente en las relaciones Ca/Mg, Mg/K y Ca+Mg/K. De igual forma, la relación Ca:Mg:K, ante la presencia del catión NH₄ los descoloca, tornándolos muy precarios en el metabolismo vegetal.

Las relaciones entre los cationes Ca, Mg y K se interpretan de la siguiente manera: existe un ámbito bastante amplio y no muy estricto en sus límites dentro del cual la relación está normal, cualquier valor fuera de este rango, inferior o superior, es índice de desbalance. Al identificar la base o catión causante del desbalance, se establece también lo que hay que adicionar, para lograr el equilibrio (Ayala, 2008).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Sitio del estudio

La investigación se realizó en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas, donde se recopiló información del rendimiento relativo de plantaciones comerciales y se tomó muestras de suelos y foliares en diferentes cultivos de palmito localizados dentro de un perímetro de 35 km de la estación meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI).

Geográficamente el área de investigación está ubicada en las siguientes coordenadas:

Longitud:	79° 12' Oeste
Latitud:	0° 14' Sur
Altitud:	425 msnm

3.1.1. Características climáticas

En la tabla 3.1 se muestran las características agroclimáticas cercanas a los sitios de estudio, reportadas por el INAMHI en el año 2014.

Tabla 3.1 Características agroclimáticas del sitio de estudio

Características	Santo Domingo de los Tsáchilas ¹
Clima	Subtropical húmedo
Temperatura media (°C)	24
Precipitación (mm año ⁻¹)	3338
Humedad relativa (%)	88
Heliofanía (horas luz/año)	761,2
Altitud (msnm)	425

¹Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2014).

3.1.2. Características edáficas

En la Tabla 3.2 se muestra un resumen de las características edáficas, del área donde se procedió a coleccionar las muestras de suelos y foliares.

Tabla 3.2 Taxonomía de los suelos de los sitios de estudio

Orden	Inseptisoles	Inseptisoles
Suborden	Andepts	Andepts
Gran grupo	Distrandepts	Hidrandepts
Material de origen	Cenizas recientes sobre depósitos de ceniza antigua	Ceniza reciente suave y permeable y/o antiguas
Clima, zonas de humedad y temperatura	Húmedo a muy húmedo Templado a cálido	Húmedo a muy húmedo Templado, cálido
Fisiografía y relieve	Relieves planos a ondulados de llanuras aluviales y conos de deyección costera.	Relieves planos a montañosos formados en zonas de climas cálidos.
Características de suelo	Suelos limosos a franco limosos con un buen contenido de materia orgánica (MO) lo que les da la propiedad de ser suelos ligeramente ácidos con un porcentaje de retención de humedad que va desde el 20% al 100%. Fertilidad media.	Limosos a franco limosos, profundos, ricos en materia orgánica, desaturados en bases, pH ácidos. Retención de humedad mayor al 100%, negros en zonas frías y pardos amarillos en templadas o cálidas, lixiviadas, esponjosos, baja fertilidad.

Fuente: SECS (1986) Mapa general de suelos del Ecuador, Mejía (1997) Mapa general de clasificación por capacidad-fertilidad de suelos del Ecuador, taxonomía de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

3.2. Factores, tratamientos y variables en estudio

3.2.1. Factores en estudio y tratamientos

El factor en estudio fue: fincas dedicadas al cultivo comercial de palmito (20), donde se tomaron muestras de suelos y foliares.

Los tratamientos evaluados fueron: 20 muestras de suelos y 20 muestras foliares tomadas en las 20 fincas (localidades) donde se cultiva palmito.

3.2.2. Variables en estudio

a) Análisis de suelos

La determinación de las características químicas de suelos efecto de estudio, se realizaron usando la relación suelo:agua de 1:2,5 para el pH; la materia orgánica se determinó usando el método de Walkley-Black, el N, P y B por colorimetría, S y los cationes leídos en absorción atómica, usando como extractante Olsen modificado y para B y S fosfato de calcio monobásico, el Al intercambiable determinado con KCl. Los resultados de materia orgánica fueron expresados en %, el N, P, S y micronutrientes expresados en mg/kg y las bases Ca, K, Mg y Al en $\text{cmol (+)}/\text{dm}^3$.

b) Análisis foliares

La determinación de los contenidos nutricionales de los tejidos se realizó usando la mineralización nítrico-perclorica, en relación 5:1; para determinar los contenidos de N se empleó la metodología Kjeldahl; el P, S y B por turbidimetría y el K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn en espectrofotómetro de absorción atómica. Las concentraciones de macronutrientes fueron expresados en dag/kg y para micronutrientes en mg/kg .

3.2.3. Determinación de la relación Ca:Mg:K ideal para el cultivo de palmito

Las relaciones catiónicas de Ca, Mg y K fueron establecidas mediante cálculos a partir de los resultados de los niveles críticos del suelo en $\text{cmol (+)}/\text{dm}^3$. Se obtuvo una aproximación ideal de la relación Ca:Mg:K para el cultivo de palmito en Andisoles de Santo Domingo, mediante la relación usada por Bosch et al. (1995) y Foster & Tarmizi (1998) ajustada para valores de suelos en $\text{cmol (+)}/\text{dm}^3$, directamente. La relación fue:

$$\text{Relación } K = 100*(K) / (Ca+Mg+K)$$

Dónde:

K = Nivel crítico de K en el suelo en $\text{cmol (+)}/\text{dm}^3$

Ca = Nivel crítico de Ca en el suelo en $\text{cmol (+)}/\text{dm}^3$

Mg = Nivel crítico de Mg en el suelo en $\text{cmol (+)}/\text{dm}^3$

En este mismo estudio se determinó la relación catiónica a nivel foliar, para ello se empleó el nivel crítico económico (90% del rendimiento relativo potencial) de cada elemento en dag/kg, usando la fórmula propuesta por Bosch et al. (1995) y Foster & Tarmizi (1998), como ejemplo para la relación de potasio. La relación fue:

$$\text{Relación K} = 100 * (K/39,1) / ((Ca/20)+(Mg/12,2)+(K/39,1))$$

$$\text{Relación K: Ca+Mg} = K / (Ca + Mg)$$

Dónde:

K = Nivel crítico de K en el follaje en dag/kg

Ca = Nivel crítico de Ca en el follaje en dag/kg

Mg = Nivel crítico de Mg en el follaje en dag/kg

3.3. Métodos estadísticos

3.3.1. Determinación de los niveles críticos del suelo y follaje

Se realizaron análisis de regresión entre los rendimientos relativos del cultivo y los nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn y B, además se incluyó pH y MO. Se utilizaron modelos de regresión no lineales (Tabla 3.3). En cada elemento se seleccionó el modelo que presentaba el mayor ajuste a los datos, mayor coeficiente de determinación (R^2), y se estableció el nivel crítico del 90% del rendimiento relativo. Este rendimiento relativo, se estipuló considerando el mayor rendimiento como equivalente al 100%. Para el ajuste de los datos, se utilizó el programa CurveExpert, versión 1.3.

Tabla 3.3 Modelos utilizados para encontrar los niveles críticos en el suelo y follaje

Modelo	Ecuación
Polinomio cúbico	$y=a+bx+cx^2+dx^3$
Recíproco cuadrático	$y=1/(a+bx+cx^2)$
Cuadrático	$y=a+bx+cx^2$
Función racional	$y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$
Logaritmo recíproco	$y=1/(a+b*\ln(x))$
Ajuste geométrico	$y=ax^{(bx)}$
Ajuste de potencia	$y=ax^b$
Modelo Gausiano	$y=a*\exp(-(b-x)^2)/(2*c^2)$
Ajuste hiperbólico	$y=a+b/x$
Potencia modificada	$y=a*b^x$
Ajuste cuadrático	$y=a+bx+cx^2$

3.4. Manejo del experimento

3.4.1. Recopilación de información

Se recopiló información del rendimiento relativo de plantaciones comerciales asociadas a INAEXPO (Industria Agrícola Exportadora de palmito) y muestras de suelos del orden andisoles, ubicados en Santo Domingo de los Tsáchilas.

3.4.2. Identificación de sectores y toma de muestras

Las muestras de suelos fueron colectadas en la vía Quevedo, vía Quinindé, vía Chone y vía Las Mercedes, durante el segundo semestre del 2014, a profundidad de 20 cm, sacando 20 submuestras/muestra, de puntos en zigzag, a lo largo y ancho de cada unidad de muestreo (aproximadamente 20.000 m²) y de la misma manera, se tomaron muestras foliares del tercio medio de la tercera hoja más joven, según la filotaxia del cultivo (Anexo 1).

Para determinar el nivel crítico del aluminio y el porcentaje de saturación, se tomaron valores de una base de datos de 20 muestras de suelos, que presentaban acidez, en los análisis de laboratorio (Anexo 3).

3.4.3. Análisis de laboratorio

Las muestras fueron enviadas al Laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina para determinar las características químicas (macro y micronutrientes) del suelo y el follaje, además se incluyó los contenidos de pH y MO del suelo. Una vez obtenidos los resultados, se procedió a realizar una base de datos para su posterior análisis.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de los niveles críticos en el suelo

Los niveles críticos de los nutrientes del suelo se calcularon con el 90% del rendimiento relativo. Se observó que el rendimiento del palmito se incrementó a medida que subió el pH, la materia orgánica, los macronutrientes y micronutrientes, excepto con el Mn, el Cu y el Zn que no tuvieron un ajuste a un modelo de regresión (Figura 4.1 y 4.2).

El efecto del pH y la materia orgánica del suelo sobre el rendimiento del palmito, fue adecuadamente descrito por el modelo polinómico cúbico. Este rendimiento se incrementó a medida que el pH del suelo subió (Figura 4.1), y tuvo su nivel crítico de 6,3, valor que fue levemente superior al rango óptimo de 5,5 a 6,0 descrito por Ortega (1996), para plantaciones de palmito de Costa Rica, que se cultivan en suelos ácidos, pertenecientes a los órdenes ultisoles, andisoles e inceptisoles.

La materia orgánica del suelo influyó positivamente sobre el rendimiento del palmito hasta aproximadamente 8 %. En este trabajo, el valor crítico encontrado fue de 6,3% (Figura 4.1), valor que se ajustó a más de 5,0% indicado por Herrera (1989), para suelos de Costa Rica, quien además expresó que el palmito es un gran extractor de nutrientes y muchos de los elementos son reciclados en el suelo, a través de los residuos de hojas, tallos y vainas (cáscaras), producidos en la cosecha.

El efecto del P en el rendimiento relativo del cultivo, fue explicado adecuadamente por el modelo recíproco cuadrático ($R^2=0,93$). Se determinó que el nivel crítico de P es de 12,26 mg/dm³ (Figura 4.1), similar al reportado por Ares et al. (2002), en ultisoles de Costa Rica, quien indicó que para alcanzar el 90% del rendimiento máximo, el nivel crítico de P fue de 10 mg/dm³, considerando que los andisoles tienen mayor capacidad de fijación que los ultisoles, debido a la naturaleza de su fracción de arcilla, dominada principalmente por la presencia de minerales de orden corto como alofana (Bertsch, 1995; Espinosa, 2010), con gran capacidad de retención de P.

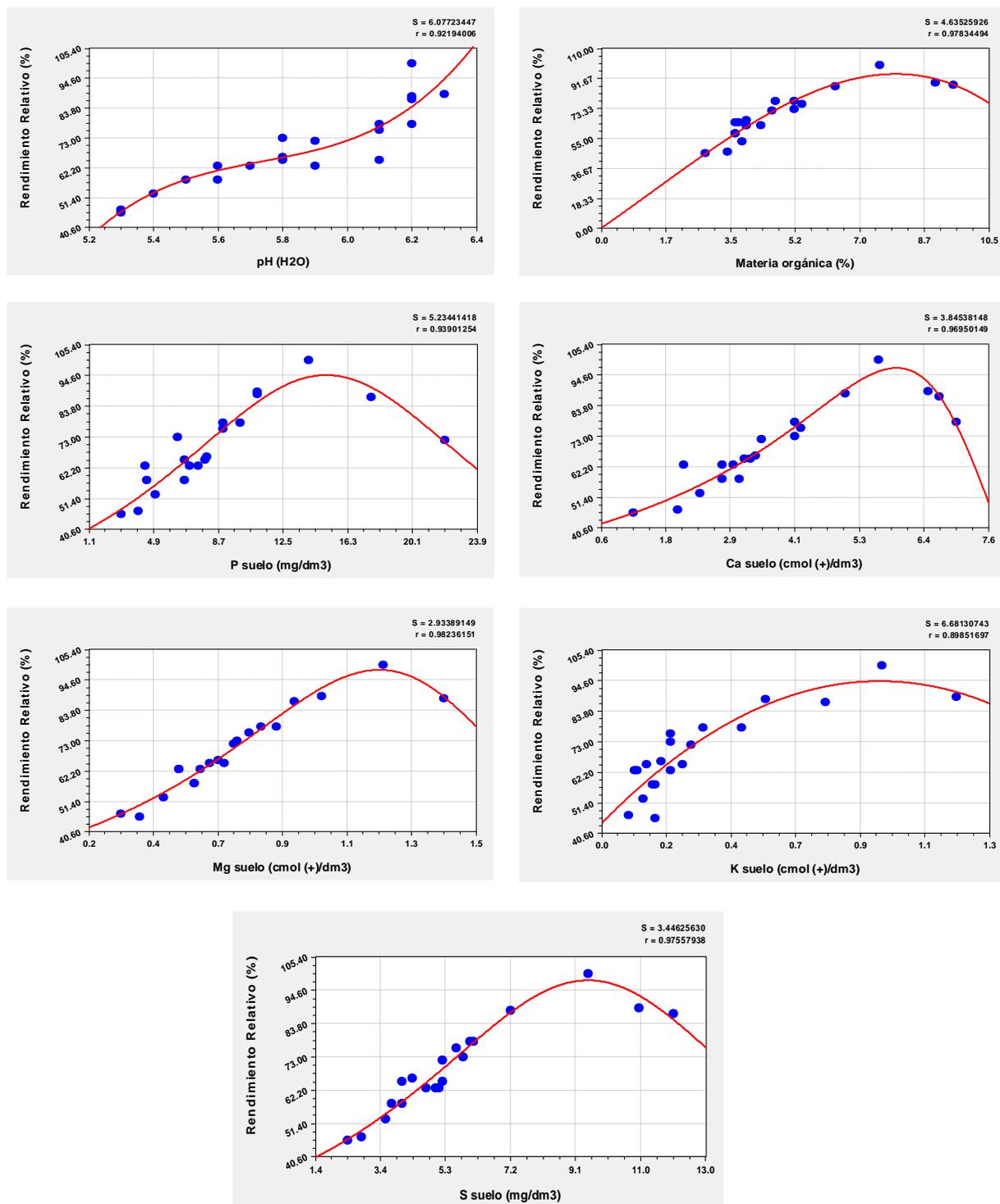


Figura. 4.1. Relación entre el rendimiento relativo y los valores de pH, MO y contenidos de macronutrientes en andisoles de Santo Domingo de los Tsáchilas, cultivados con palmito.

Usando un 90% del rendimiento relativo y mediante el modelo estadístico función racional ($R^2=0,96$), el nivel crítico encontrado fue de 5,1 cmol (+)/dm³ de Ca en el suelo (Figura 4.1), valor que concordó con lo expuesto por Ayala (2008), quien indicó un valor óptimo de 5,1 a 8,9 cmol (+)/dm³, para el cultivo de palma aceitera, sembrado en La Concordia, Ecuador.

El Mg influyó positivamente en el rendimiento relativo del cultivo, así Guzmán (1985), mencionó que el palmito presenta a menudo síntomas visuales de deficiencia de Mg, lo que sugiere un alto requerimiento de este elemento, aunque los síntomas, también pueden ocurrir por un desbalance con K. En esta investigación se encontró 0,97 cmol (+)/dm³ como nivel crítico (Figura 4.1), mostrando que el efecto del Mg en el rendimiento es adecuadamente descrito por el modelo función racional con $R^2=0,97$, coincidiendo con Ortega (1996), quien trabajando con cultivos comerciales de palmito en Costa Rica, concluyó que por lo general se presentan valores bajos, entre 0,5 a 1,0 cmol (+)/dm³, siendo el óptimo > 1,0 cmol (+)/dm³.

Para la zona en estudio, Calvache (1999) reportó efectos positivos de la fertilización potásica en el cultivo de palma africana; sin embargo, estas respuestas se manifestaron a largo plazo. El nivel crítico del K encontrado mediante el modelo ajuste cuadrático ($R^2=0,89$), en el presente estudio fue de 0,67 cmol (+)/dm³, lo que sugiere una alta variabilidad del rendimiento (Figura 4.1), que responde a lo indicado por Molina (1999) para quien los valores óptimos de K en suelos de Costa Rica, fueron superiores a 0,3 cmol (+)/dm³, consiguiendo plantas con características adecuadas para la producción de palmito.

El modelo función racional se ajustó de manera positiva ($R^2=0,97$), a la relación entre el rendimiento relativo y el contenido de S en el suelo, es así que se consiguió el nivel crítico de S en 7,54 mg/dm³, valor inferior al nivel de 10 mg/dm³ reportado por Molina (1999) en suelos de Costa Rica.

En el Anexo 5, se resumen los niveles críticos de los nutrientes y los valores de pH y MO en andisoles de Santo Domingo de los Tsáchilas, cultivados con palmito.

El nivel crítico de Al fue determinado adecuadamente usando el modelo ajuste geométrico ($R^2=0,53$) y resultó de $1,0 \text{ cmol (+)}/\text{dm}^3$ (Figura 4.2), mostrando variabilidad media del rendimiento relativo; esto concuerda por lo reportado por Molina (1999) en suelos de Costa Rica y Cravo et al. (1996) en Brasil quienes indican como valor óptimo de Aluminio $< 1,0 \text{ cmol (+)}/\text{dm}^3$.

Para los suelos de Santo Domingo el nivel crítico de saturación de Al fue de 20%, valor que sería adecuado, considerando que el palmito presenta un grado medio de tolerancia a la acidez, que según Molina (2000), podría oscilar entre 30% y 40%; sin embargo, el hecho de que un cultivo tolere una condición dada, no implica que esta, sea la que ofrece las mejores producciones.

Entre los elementos menores, excepto el Mn, Cu y Zn, los niveles críticos encontrados en este trabajo, se ajustaron positivamente con el rendimiento relativo del cultivo, así para el Fe $161 \text{ mg}/\text{dm}^3$; Mn $10,6 \text{ mg}/\text{dm}^3$; Cu $6,3 \text{ mg}/\text{dm}^3$; Zn $4,4 \text{ mg}/\text{dm}^3$ y B $0,51 \text{ mg}/\text{dm}^3$ (Figura 4.2).

Estos niveles son similares a los reportados en suelos de Costa Rica para Fe, Mn, Cu, Zn y B, por Molina (1999), quien determinó las características químicas óptimas de suelo para el cultivo de palmito indicadas en la Tabla 1.

Los modelos de regresión no lineal que mejor se adaptaron a este set de datos, para determinar el nivel crítico de cada elemento en el suelo, se detallan en la Tabla 4.1, cuyo objetivo fue dividir la población de muestras, en un grupo de alta respuesta (considerado los puntos por debajo del nivel crítico) y un grupo de baja respuesta (considerado por encima del nivel crítico), maximizando el coeficiente de determinación mediante aproximaciones sucesivas de niveles críticos.

En la Tabla 4.1 se observa que existió buen ajuste de los diferentes modelos de regresión, con coeficientes de determinación mayores a 0,89 ($P<0,001$) entre los valores de pH, MO y contenidos de los nutrientes P, Ca, Mg, K, S y B en el suelo y el rendimiento relativo del cultivo de palmito; en tanto que, no hubo un buen ajuste para los microelementos Mn, Cu, Zn.

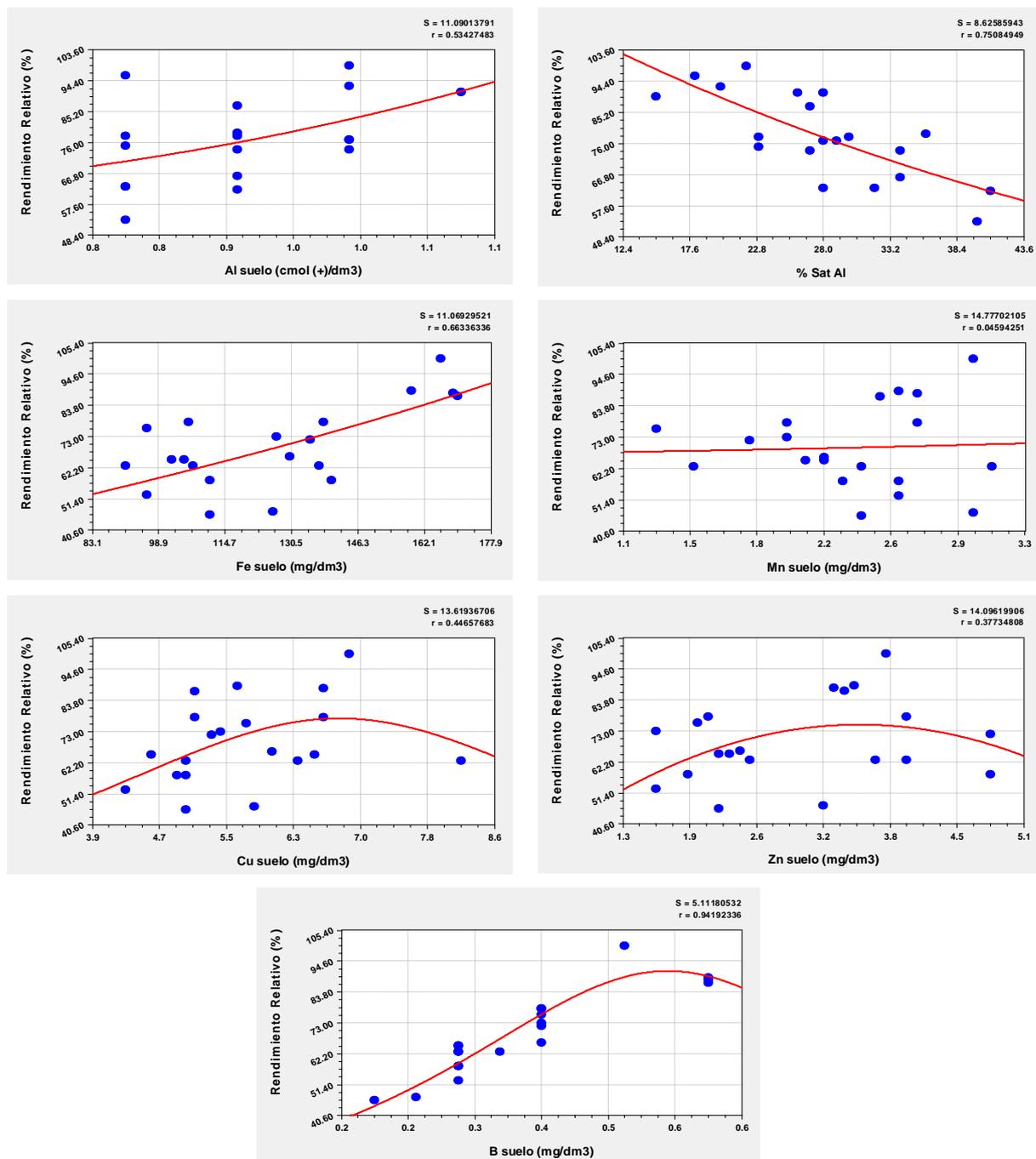


Figura. 4.2. Relación entre el rendimiento relativo y contenidos de micronutrientes y los valores de Al y % de Saturación de Al, en andisoles de Santo Domingo de los Tsáchilas, cultivados con palmito.

Tabla 4.1. Ecuaciones y coeficientes de determinación entre los valores de pH, MO y contenidos de nutrientes en el suelo, con el rendimiento relativo (%)

Elemento	Nombre	Ecuaciones de regresión	R ²
pH	Polinomio cúbico	$y = -18833,696 + 9831,8986x - 1708,8287x^2 + 99,223106x^3$	0,92 ***
MO	Polinomio cúbico	$y = 16,985206 + 6,4350594x + 2,1242729x^2 - 0,21307702x^3$	0,97 ***
P	Recíproco cuadrático	$y = 1 / (0,026778002 - 0,0021584316x + 7,1819448e-005x^2)$	0,93 ***
Ca	Función racional	$y = (38,661255 - 4,4717121x) / (1 - 0,24916784x + 0,017140005x^2)$	0,96 ***
Mg	Función racional	$y = (33,720969 - 10,48237x) / (11,2121978x + 0,4653719x^2)$	0,98 ***
K	Ajuste cuadrático	$y = 43,134208 + 108,91841x - 57,878662x^2$	0,89 ***
S	Función racional	$y = (33,075913 - 0,21702936x) / (1 - 0,14183343x + 0,0073639846x^2)$	0,97 ***
Al	Ajuste geométrico	$y = 82,92771x^{(0,91517475x)}$	0,53 *
Sat. Al	Potencia modificada	$y = 127,55175 * 0,9825167^x$	0,75 **
Fe	Logaritmo recíproco	$y = 1 / (0,064860921 - 0,01040728 * \ln(x))$	0,66 *
Mn	Ajuste geométrico	$y = 67,809051x^{(0,011254627x)}$	0,04 ns
Cu	Recíproco cuadrático	$y = 1 / (0,050086159 - 0,010966101x + 0,00080834204x^2)$	0,44 ns
Zn	Ajuste cuadrático	$y = 1 / (0,050086159 - 0,010966101x + 0,00080834204x^2)$	0,37 ns
B	Recíproco cuadrático	$y = 1 / (0,039921398 - 0,1050194x + 0,095264766x^2)$	0,94 ***

y = concentración de pH, MO, P, Ca, Mg, K, Al, Sat. Al, S, Fe, Mn, Cu, Zn y B en el suelo para un rendimiento relativo del 90%. *, ** y *** coeficientes de determinación positivos y significativos para P= 0,05, P=0,01 y P=0,001 respectivamente.; ns = No significativo.

4.2. Determinación de la relación catiónica Ca:Mg:K ideal en el suelo para el cultivo de palmito

Las regresiones presentadas en la Tabla 4.2, indican que el efecto de las bases en el rendimiento relativo es adecuadamente descrito por los modelos empleados, presentando coeficientes de determinación mayores a 0,89, con $P < 0,001$.

Tabla 0.2. Coeficientes de determinación entre las bases Ca, Mg y K del suelo y el 90% del rendimiento relativo potencial

Regresiones	Ca	Mg	K
Rendimiento relativo	0,98 ***	0,96 ***	0,89 ***

*** Coeficientes de determinación positivos y muy altamente significativos para $P=0,001$.

Los cálculos elaborados para obtener la relación catiónica con el 90% del rendimiento potencial del cultivo, se expresan en la Tabla 4.3.

Con base a los niveles críticos de las bases, encontrados en esta investigación y relacionados con el 90% del rendimiento relativo potencial (Tabla 4.3), se obtuvo una relación de 76:14:10 (Ca:Mg:K), considerándose ideal para el cultivo de palmito en andisoles de Santo Domingo de los Tsáchilas, relación que varía con los 75:19:6 (Ca:Mg:K), calculados, usando la fórmula de Bosch (1995) y Foster & Tarmizi (1998), y con los datos de Molina (1999) para el cultivo de palmito en Costa Rica.

La tendencia de estas relaciones catiónicas, son similares a las encontradas por Ayala (2008) y León (1988) para palma aceitera, donde el valor de calcio es mayor al magnesio y este a su vez mayor al potasio, presentando balances de 65:25:10 y 60:30:10 (Ca:Mg:K), respectivamente.

Tabla 4.3. Relación catiónica Ca:Mg:K ideal en el suelo, para el cultivo de palmito en andisoles de Santo Domingo de los Tsáchilas

Catión	Relación	Balance
Ca	$Ca = (100 * 5,06) / 6,70$	76
Mg	$Mg = (100 * 0,97) / 6,70$	14
K	$K = (100 * 0,67) / 6,70$	10

§ = Cálculos para un rendimiento relativo potencial del 90%.

Considerando los valores críticos de bases usados para la determinación de la relación catiónica ideal de Ca:Mg:K, se estableció una suma de bases de 6,70 cmol

(+)/dm³, valor que coincide con lo señalado por Molina (1999) que indica que es importante mantener valores de sumatoria de bases > 5 cmol (+)/dm³, para obtener rendimientos altos.

En base a los valores óptimos encontrados, se obtuvo la relación ideal de 1,45 cmol (+)/dm³ para Mg/K, siendo baja debido al alto contenido de K con relación al Mg de estos suelos; Molina (1999) muestra datos cuya relación es de 3,3, superior al encontrado en esta investigación.

La relación ideal de Ca/Mg con valor de 5,22, resulta superior a los 4,0 obtenido con los datos reportados por Molina (1999); así mismo, la relación (Ca+Mg)/K fue de 9,0, que resultó bajo cuando comparado con los de Molina (1999), indicando que en los suelos de Santo Domingo de la Tsáchilas, los contenidos de K son mayores a los de Costa Rica, en que trabajó Molina.

Se observó de forma general, que en los suelos evaluados, la concentración de Ca varía de niveles bajos a altos; en tanto que para Mg, la gran mayoría son bajos, por el contrario, los suelos de Santo Domingo de los Tsáchilas contienen niveles elevados de K, que afecta directamente las relaciones (Anexo 2) y difieren con los encontrados en Costa Rica por Molina (1999), pudiendo ser consecuencia de las prácticas de fertilización realizada por los productores, donde priorizan las aplicaciones de N y K, respecto al Ca y Mg.

4.3. Determinación de los niveles críticos de los nutrientes a nivel foliar

En general, el rendimiento del palmito se incrementó, a medida que aumentaron las concentraciones de macro y micronutrientes en el tejido, hasta alcanzar un nivel máximo fisiológico, posterior a éste, tiende a decaer, probablemente llegando a la región de toxicidad como lo indicado (Figura 4.3 y 4.4) por Boraetto, Moraoka & Trevelin (2008), quienes mencionan que al incrementarse los niveles de un determinado elemento en el suelo, por sobre el nivel crítico, el rendimiento relativo disminuye, comportamiento que se conoce como la ley de los rendimientos decrecientes. Sin embargo para P, esto no se cumple, indicando que los valores observados en las muestras, aún no satisfacen las necesidades del cultivo, lo que corrobora los efectos de la presencia de alofanos en los andisoles evaluados, que

presentan arcillas con alta capacidad de fijación de P (Bertsch, 1995; Espinosa, 2010).

El efecto del N sobre el 90 % del rendimiento relativo del palmito, es adecuadamente descrito por el modelo función racional con $R^2=0,90$, donde el nivel crítico calculado de N resultó de 3,9 dag/kg (Figura 4.3). Este valor se encuentra dentro del rango de 2,5 – 4,0 dag/kg reportado como aceptable por Mora et al. (1997); sin embargo, resulta mayor a los rangos de 2,20 - 2,76 dag/kg en hojas jóvenes y de 2,07 - 3,25 dag/kg en hojas viejas, indicados por La Torraca et al. (1984), Falcao et al. (1994), para suelos de Costa Rica y Brasil, respectivamente.

Sin embargo Molina et al. (2002) establecieron el nivel crítico de N foliar en 2,88 dag/kg para la hoja 3 y en 2,37 dag/kg para la hoja 5, valores asociados a rendimientos relativos de 73 y 80 %; por otro lado, en trabajo de invernadero, Nogueira et al. (1997), observaron síntomas de deficiencia de N como clorosis generalizada de las hojas, cuando la concentración foliar de N fue inferior a 1,5 dag/kg.

Para fósforo, el 78% de la variación del rendimiento es explicado adecuadamente por el modelo ajuste de potencia, los datos analizados presentaron una relación lineal positiva entre la concentración de P y el rendimiento del cultivo (Figura 4.3), y no alcanzaron para determinar el punto crítico inferior indicado por Boraetto et al. (2008), donde la planta obtiene el máximo potencial de rendimiento. En esta investigación, el nivel crítico encontrado que fue de 0,30 dag/kg, valor que se ajusta a los 0,15 y 0,30 dag/kg indicados por Molina (2000), para la hoja N° 3 de palmito. Trabajando en hidroponía, La Torraca et al. (1984), observaron síntomas de deficiencia de P en la planta, cuando las concentraciones de este elemento en los tejidos de la hoja N° 3, oscilaba entre 0,06 y 0,10 dag/kg.

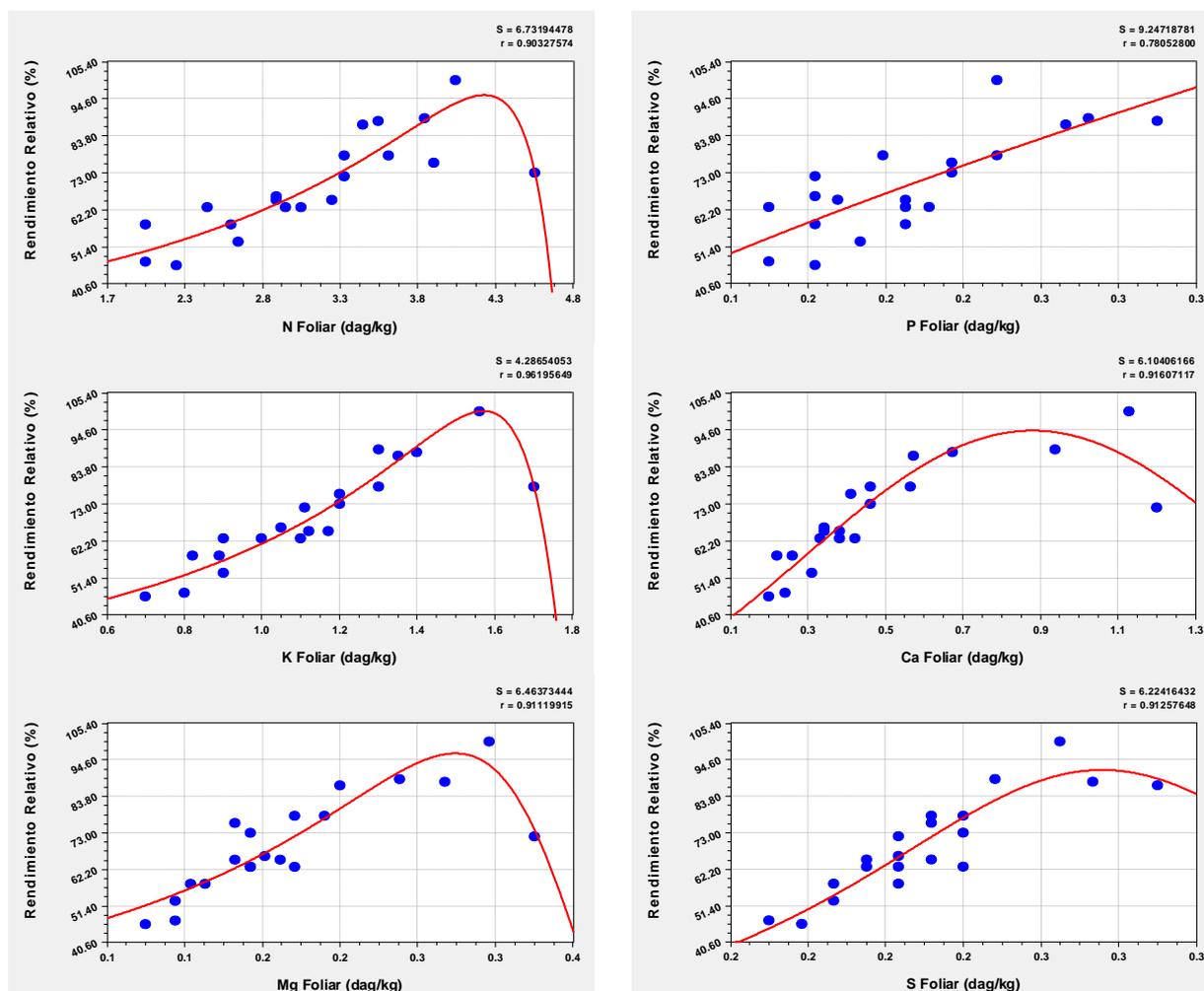


Figura 4.3. Relación entre el rendimiento relativo y la concentración de macronutrientes a nivel foliar, en el cultivo de palmito en Santo Domingo de los Tsáchilas.

Según Herrera (1989) después del N, el K es el segundo elemento importante en extracción del cultivo, por tal razón, en la mayoría de plantaciones las fuentes utilizadas para fertilizar sus cultivos se basan en estos dos elementos. El nivel crítico de K es explicado adecuadamente por el modelo función racional ($R^2=0,96$), y fue de 1,40 dag/kg, coincidiendo con estudios realizados por Molina (1999) en Costa Rica, quien estableció, que el nivel adecuado de K oscila entre 1 a 2 dag/kg.

Se observó un adecuado ajuste descrito por el modelo Gausiano ($R^2=0,91$), entre la concentración de Ca en el tejido y el rendimiento del palmito, obteniéndose el nivel crítico de Ca de 0,67 dag/kg, resultando superior al rango adecuado para este cultivo reportado por Molina (1999) que va de 0,40 a 0,60 dag/kg; por otro lado, el valor encontrado en el presente estudio, aunque no es en la misma especie, está

dentro del rango reportado por Ramírez (2008) quien establece que la concentración adecuada de Ca para el cultivo de palma aceitera en la hoja 17 es de 0,50 a 0,75 dag/kg.

El modelo función racional ($R^2=0,91$), sirvió para establecer el nivel crítico de Mg, se identificó una concentración de 0,27 dag/kg de Mg (Figura 4.3), valor que se corresponde con Molina (1999), quien menciona que el rango de concentración adecuado de Mg en el tejido foliar va de 0,20 a 0,30 dag/kg; sin embargo, resulta superior al rango de 0,21 a 0,25 dag/kg, reportado por Ramírez (2008), para cultivos comerciales de palma aceitera en Costa Rica, indicando que las palmáceas son muy demandantes de este elemento.

El palmito al igual que la palma aceitera, presenta a menudo síntomas visuales de deficiencia de Mg, sugiriendo un alto requerimiento de este elemento, aunque la deficiencia de Mg, también podría ocurrir por desbalance con K (Ares et al., 2002).

El nivel crítico del S calculado para tejidos foliares de palmito con relación al rendimiento fue de 0,26 dag/kg, y descrito adecuadamente por el modelo recíproco cuadrático ($R^2=0,91$); este valor crítico, se encuentra dentro del rango de los niveles adecuados que maneja el laboratorio de suelos y plantas del INIAP, para este cultivo, quienes sugieren un valor óptimo de 0,15 a 0,30 dag/kg (ANEXO 7).

Para los micronutrientes, los niveles críticos encontrados fueron: Fe 124 mg/kg; Mn 42 mg/kg; Cu 25 mg/kg; Zn 36 mg/kg y B 12,4 mg/kg con el 90% de rendimiento relativo. Se observó una respuesta positiva entre el rendimiento del palmito y la concentración de micronutrientes en el tejido, con excepción del Fe que disminuyó el rendimiento, así como se elevaba su concentración (Figura 4.4).

En el presente estudio, mediante el modelo función racional ($R^2=0,86$), se estableció el nivel crítico de B en 12,4 mg/kg, que se relaciona con lo reportado por Pérez (1998) quien indica que para suelos de la amazonia peruana, los valores generalmente son inferiores a 15 mg/kg.

La tendencia del incremento del rendimiento relativo con respecto a la concentración de cada micronutriente en el follaje, se observa en la Figura 4.4,

donde indica una asociación positiva, descrita adecuadamente por los diferentes modelos estadísticos, para los micronutrientes estudiados, excepto el Fe.

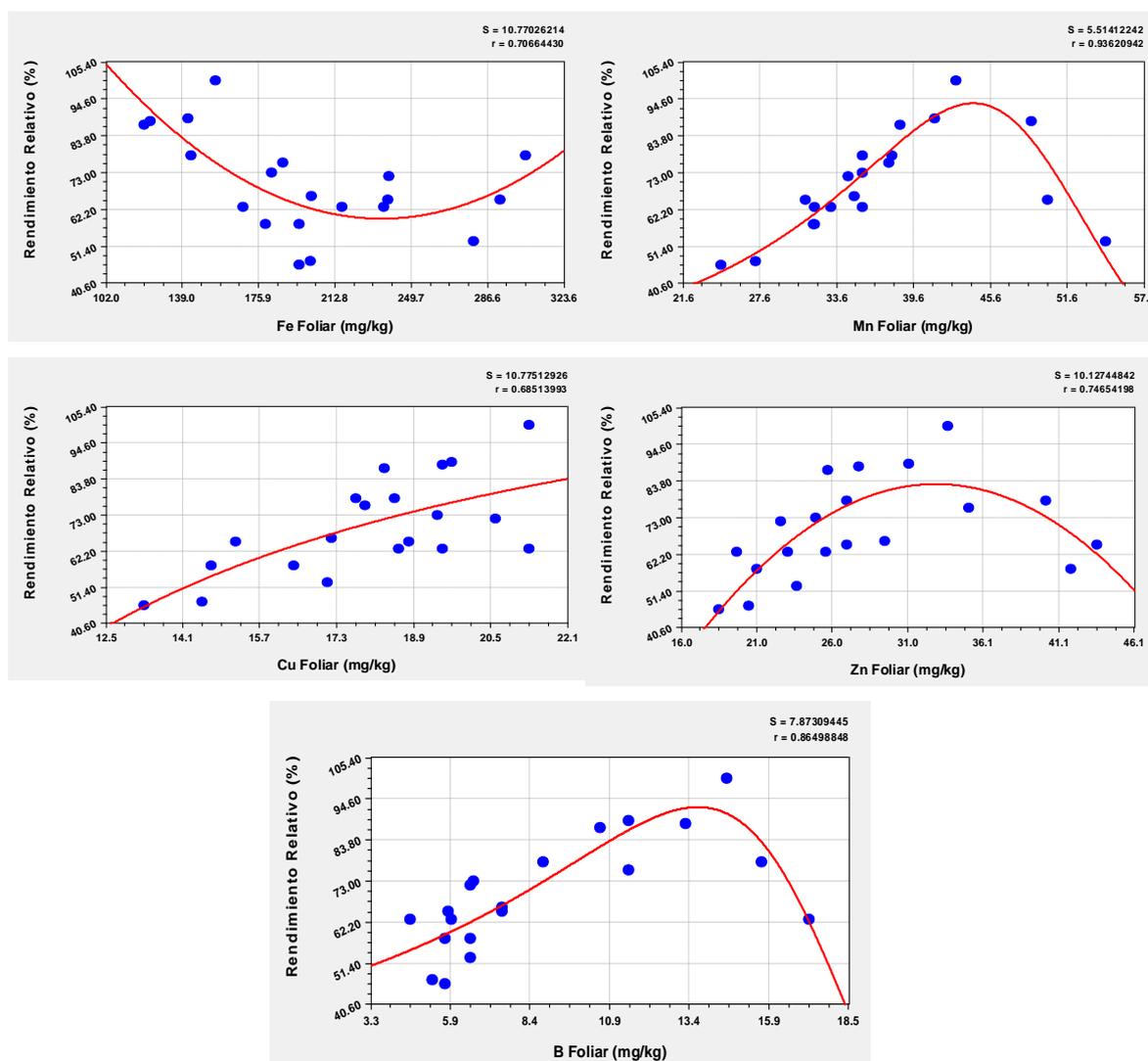


Figura 4.4. Relación entre el rendimiento relativo y la concentración de micronutrientes a nivel foliar, en el cultivo de palmito en Santo Domingo de los Tsáchilas.

De acuerdo a la base de datos de análisis foliar del Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, determinaron que la concentración usual de nutrimentos en las hojas de este cultivo es la siguiente; N 2,50 a 4 dag/kg; P 0,1 a 0,3 dag/kg; K 1 a 2 dag/kg; Ca 0,4 a 0,6 dag/kg; Mg 0,25 a 0,40 dag/kg; S 0,15 a 0,30 dag/kg; Fe 50 a 200 mg/kg; Mn 60 a 200 mg/kg; Cu 5 a 15 mg/kg; Zn 15 a 50 mg/kg; B 10 a 40 mg/kg (Molina, 1999). A pesar que la mayoría de plantaciones de la zona en estudio no son fertilizadas con niveles

adecuados de microelementos, los niveles críticos encontrados en la presente investigación, se asemejan a los valores determinados en suelos de Costa Rica (Anexo 6).

En la Tabla 4.4 se observa que los niveles críticos de los nutrientes N, K, Ca, Mg, S, Mn y B a nivel foliar, fueron apropiadamente descritos por los diferentes modelos empleados con coeficientes de determinación mayores a 0,9 y $P < 0,001$. Las regresiones para P, Zn, Cu, Fe, muestran asociación positiva altamente significativa entre la concentración de cada elemento en el follaje y el 90 % del rendimiento relativo potencial, indicando un buen ajuste a los diferentes modelos de regresión no lineales.

Los métodos estadísticos de regresión que mejor se ajustaron para obtener los niveles críticos a nivel foliar, se expresan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Ecuaciones y coeficientes de determinación, entre las concentraciones de los nutrientes en el follaje, con el rendimiento relativo

Elemento	Nombre	Ecuaciones de regresión	R ²
N	Función racional	$y = (32,904455 - 7,0227152x) / (1 - 0,38697321x + 0,03746861x^2)$	0,90 ***
P	Ajuste de potencia	$y = 217,58268x^{(0,73493925x)}$	0,78 **
K	Función racional	$y = (32,209046 - 17,977185x) / (1 - 1,0434452x + 0,27508068x^2)$	0,96 ***
Ca	Modelo Gausiano	$y = 94,32862 * \exp(-(0,85232216 - x)^2 / (2 * 0,58700506^2))$	0,91 ***
Mg	Función racional	$y = (39,270222 - 93,58184x) / (1 - 4,8329019x + 6,291863x^2)$	0,91 ***
S	Recíproco cuadrático	$y = 1 / (0,091363967 - 0,5896611x + 1,0806281x^2)$	0,91 ***
Fe	Ajuste cuadrático	$y = 200,54828 - 1,1999213x + 0,002551418x^2$	0,70 **
Mn	Función racional	$y = (20,036681 - 0,28855647x) / (1 - 0,038571509x + 0,00040075789x^2)$	0,93 ***
Cu	Ajuste hiperbólico	$y = 141,52676 - 1275,5706/x$	0,68 **
Zn	Ajuste cuadrático	$y = -111,7508 + 11,832575x + 0,17986201x^2$	0,74 **
B	Función racional	$y = (41,920324 - 2,0355894x) / (1 - 0,10189467x + 0,0029190024x^2)$	0,86 ***

y = concentración de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B foliar para un rendimiento relativo del 90%; ** y *** coeficientes de determinación positivos y significativos para $P = 0,01$ y $P = 0,001$, respectivamente.

4.4. Determinación de la relación catiónica K:Ca:Mg a nivel foliar para el cultivo de palmito

Se observó que los valores de K, Ca y Mg del tejido foliar, presentaron una relación positiva con el rendimiento relativo potencial; así, en la Tabla 4.5 se presenta los coeficientes de determinación de las bases con respecto al rendimiento y los cálculos elaborados para obtener la relación catiónica a nivel foliar con relación al 90% del rendimiento potencial del cultivo, se indican en la Tabla 4.6.

La relación ideal de bases a nivel foliar fue de 63:19:18 para K, Ca y Mg respectivamente, con un rendimiento relativo potencial del 90%, ésta resultó próxima a la relación de 67:20:13 (K:Ca:Mg) para palmito de suelos de Costa Rica, estimada con datos presentados por La Torraca et al. (1984), citado por Molina (2000) y calculada con uso de la fórmula propuesta por Bosch et al. (1995) y Foster & Tarmizi (1998).

Tabla 0.5. Coeficientes de determinación entre las bases K, Ca y Mg del follaje y el 90% del rendimiento relativo potencial

Regresiones	K	Ca	Mg
Rendimiento relativo	0,96 ***	0,91 ***	0,91 ***

*** Coeficientes de determinación positivos y muy altamente significativos para P= 0,001.

Tabla 4.6. Relación catiónica K:Ca:Mg ideal, a nivel foliar en el cultivo de palmito, en andisoles de Santo Domingo de los Tsáchilas

Catión	Relación	Balance
K	$K = 100 * (3,30/39,1) / ((0,50/20) + (0,30/12,2) + (3,30/39,1))$	63
Ca	$Ca = 100 * (0,50/20) / ((0,50/20) + (0,30/12,2) + (3,30/39,1))$	19
Mg	$Mg = 100 * (0,30/12,2) / ((0,50/20) + (0,30/12,2) + (3,30/39,1))$	18

§ = Cálculos para un rendimiento relativo potencial del 90%.

La concentración de K en los tejidos fue alta, respecto a los reportados para Costa Rica, debido a la absorción por parte del cultivo y la disponibilidad de este elemento en el suelo, el Ca no varía mucho; sin embargo, el Mg se presenta menor como consecuencia de los bajos contenidos del suelo.

De acuerdo a los análisis foliares de la presente investigación (Anexo 4) y en forma general en andisoles de Santo Domingo, los elementos que frecuentemente se presentan con valores bajos son Ca, Mg y B y altos el N y el K, dado que la mayoría de plantaciones son fertilizadas con estos últimos elementos y presentan contenidos elevados de materia orgánica.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES

Basado en las condiciones que se realizó la investigación, se concluyó que:

Los niveles críticos óptimos de los nutrientes en el suelo para obtener el 90% del rendimiento relativo potencial fueron: 6,3 de pH; 6,5% MO; 12,3 mg/dm³ P; 5,1 cmol (+)/dm³ Ca; 0,97 cmol (+)/dm³ Mg; 0,67 cmol (+)/dm³ K; 7,5 mg/dm³ S; 1 cmol (+)/dm³ Al; Saturación de Al 20%; 161 mg/dm³ Fe; 10,6 mg/dm³ Mn; 6,3 mg/dm³ Cu; 4,4 mg/dm³ Zn y 0,51 mg/dm³ B.

La relación catiónica Ca:Mg:K (cmol (+)/dm³) ideal para el cultivo de palmito, para andisoles de Santo Domingo de los Tsáchilas fue 76:14:10.

Los niveles críticos a nivel foliar en el cultivo de palmito fueron: 3,9 dag/kg N; 0,30 dag/kg P; 1,4 dag/kg K; 0,67 dag/kg Ca; 0,27 dag/kg Mg; 0,26 dag/kg S; 124 mg/kg Fe; 42 mg/kg Mn; 25 mg/kg Cu; 36 mg/kg Zn y 12,4 mg/kg B.

La relación de las bases (cmol (+)/kg) a nivel foliar, para alcanzar el 90% del rendimiento relativo potencial de palmito fue de 63:19:18 para K, Ca, Mg, respectivamente.

RECOMENDACIONES

- Usar los valores de los niveles críticos generados en este estudio, como una guía preliminar de interpretación de análisis químicos de suelos y foliar para el cultivo de palmito en el Ecuador, específicamente en Santo Domingo de los Tsáchilas; eventualmente deberá ser mejorada conforme se realicen nuevas investigaciones.
- Validar las relaciones catiónicas encontradas en este trabajo en la zona de estudio y replicar en otras localidades donde se concentra este cultivo como Pedro Vicente Maldonado donde hay gran área dedicada al palmito.
- Continuar por zona de cultivo con las investigaciones sobre la determinación de los niveles críticos en el suelo y en el área foliar, para identificar áreas homogéneas de producción, así como, las curvas de absorción de nutrientes, para obtener un mejor ajuste de los valores óptimos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ares, A., Boniche, J., Molina, E. & Yost, R. (2002). *Bactris gasipaes agroecosystems for heart-of-palm production in Costa Rica: changes in biomass, nutrient and carbon pools with stand age and plant density*, San José, Costa Rica.
- Ares, A., Molina, E., Cox, F., Yost, R. & Boniche J. (2002). *Fertilización fosforada del pejibaye para palmito (Bactris gasipaes) en vivero y en plantación*, San José, Costa Rica, pp. 63-74.
- Ayala, A. (2008). Evaluación de diferentes relaciones de Ca, Mg, y K en la palma aceitera (*Elaeis guinensis* Jacq) bajo condiciones de riego y sin riego. La Concordia, Esmeraldas. La Concordia, Esmeraldas: Tesis, Impresión.
- Bertsch, F. (2003). *Absorción de nutrimentos por los cultivos*, San José (1^{ra} Ed.), Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo ACCS.
- Bertsch, F. (1995). *La Fertilidad de los suelos y su manejo*, San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo ACCS, p. 157.
- Boraetto, A., Moraoka, T. & Trevelin, P. (2008). *Uso eficiente del nitrógeno de los fertilizantes convencionales*. *Informaciones Agronómicas*, 68, 13-14.
- Bosch, C., Lorkeers, A., Ndile, A., Ndile, M. & Semtozi, E. (1995). *Diagnostic survey: Constraint to banana productivity In: Bukoba and Buleva Districts, Kagera region, Tanzania*. Tanzania/Netherlands Farming Systems Research Project. Lake zone working paper No. 8. Agricultural Research Institute, Maruki, Bukoba/Royal Tropical Institute, Amsterdam.
- Calvache, M. (1999). *Determinación de la eficacia de la aplicación de potasio en el cultivo de palma africana utilizando ⁸⁵Rb como trazador*. Quito, EC. *Revista El Palmicultor* n° 13. ANCUPA. Pasquel Producciones, pp. 13-15.
- Cate, R. & Nelson, L. (1971). *Determinación del nivel crítico mediante el método de Cate y Nelson*, Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/534D14253032A779852579990061D95B/\\$FILE/RonCalibraci%C3%B3n%20de%20an%C3%A1lisis%20de%20Suelos.pdf](http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/534D14253032A779852579990061D95B/$FILE/RonCalibraci%C3%B3n%20de%20an%C3%A1lisis%20de%20Suelos.pdf)
- Cravo, M., Moraes. C. & Cruz. L. (1996). *Extração de nutrientes por palmito de pupunha*. Resumem XXII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Manaus, Brasil, pp. 624-625.

- Daniel, H. (2010). CurveExpert Copyright, version 1.3, All Rights Reserved.
- Espinosa, J. & Jaramillo, R. (2010). Manejo de la Fertilidad en Suelos Volcánicos (Andisoles). En: *Memorias del Curso Nacional de Actualización en el Cultivo de la Papa*. Colombia: FEDEPAPA.
- Falcao, N., Silva, J. & Clement, C. (1996). *Caracterização de sintomatologias de carências nutricionais em mudas de pupunha cultivadas em solução nutritiva*. In: XXII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Sociedade Brasileira da Ciência do Solo. Manaus, Brasil, p. 100.
- Foster, H. & Tarmizi, M. (1988). *Foliar diagnosis of oil palm in Peninsular Malaysia*. In: Hj Hassan, H., Chew, P., Wood, B. and Pushparajah, E. (eds.). International Oil Palm/Palm Oil conferences: Progrestart and Prospects Conference I: Agriculture. Kuala Lumpur, 23-26 June 1987, PORIM, ISP, pp 17: 1-8.
- Guzmán, P. (1985). *Nutrición y fertilización del Pejibaye (Respuesta del Pejibaye para palmito a la aplicación de N-P-K)* (Séptimo Informe de labores de Diversificación Agrícola) San José, Costa Rica.
- Herrera, W. (1989). *Fertilización del pejobaye para palmito* (Serie técnica del Pejibaye en la Universidad de Costa Rica), San José, Costa Rica.
- INAEXPO, (2009). *Situación actual del cultivo del Palmito* (Informe técnico de la Industria Agrícola Exportadora de Palmito INAEXPO), Santo Domingo, Ecuador.
- La Torraca, S., Haag, H. & Dechen, A. (1984). *Nutrición mineral de frutíferas tropicales, síntomas de carencias nutricionales en pupunha, Piracicaba*, San José, Costa Rica, pp. 53-56.
- León, A. (1998). *Capacidad de Intercambio catiónico y químico de las bases del Suelo, 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.
- López A. & Sancho H. (1990). *Observaciones sobre la distribución radical del pejobaye (Bactris gasipaes HBK) para palmito en un Andisol*, San José, Costa Rica, Editorial ASBANA.
- Mejía, L. (1997). *Mapa General de Clasificación por Capacidad-Fertilidad. Suelos del Ecuador*. Ecuador: Instituto Geográfico Militar.

- Molina, E. (1999). *Fertilización del cultivo de pejibaye para palmito*, In: J. Mora (Ed.), *El cultivo de Pejibaye para Palmito*, (pp. 78-94), Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Molina, E. (2000). *Manual de suelos y nutrición de Pejibaye para palmito*, Centro de Investigaciones agronómicas, Universidad de Costa Rica y Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, San José, Costa Rica, Editorial de la Universidad de Costa Rica, 42 p.
- Molina, E., Alvarado, A., Smyth, T., Boniche, J., Alpizar, D. & Osmond, D. (2002). *Respuesta del Pejibaye para palmito (Bactris gasipaes) al nitrógeno en Andisoles de Costa Rica*. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 26(2), 31-42.
- Mora, J. & Gainza, J. (1999). *Palmito de Pejibaye (Bactris gasipaes Kunth) su cultivo e industrialización* (1^{ra} Ed.), San José, Costa Rica, Editorial de la Universidad de Costa Rica, pp. 79-93.
- Mora, J., Weber, J. & Clement, C. (1997). *Peach palm (Bactris gasipaes Kunth)*. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Rome, Italy. IPGRI, 84 p.
- Nogueira, O., Carvalho, C., Muller, C., Galvão, E., Silva, H., Rodríguez, J., Oliveira, M., Carvalho, J., de; Rocha Neto, O., da; Nascimento, W., do; Calzabara, B. (1995). *Cultura do açai. Brasília: Embrapa-SPI*, Coleção Plantar 26, p. 50.
- Ortega, L. (1996, octubre). *Manejo de la fertilización con Ca, Mg, y K para la producción de palmito de pejibaye*, Documento presentado en el 10^{mo} Congreso Agronómico Nacional, San José, Costa Rica, p. 164.
- Pérez, J. (1998). *Pautas para el cultivo del pijuayo (Bactris gasipaes HBK.) en la amazonia peruana* (Informe técnico No 6 del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIAA), Yurimaguas, Perú.
- Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo (SECS). (1986). *Mapa General de Suelos del Ecuador*. Ecuador: Instituto Geográfico Militar.
- Ramírez, F. (2008, noviembre). *Validación de niveles críticos de Mg en suelo y follaje de palma aceitera a partir de información experimental y comercial*, Estudio de caso

en Costa Rica 2008, Documento presentado en el X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Quito, Ecuador.

Ron, M. (2003). *Calibración de análisis de suelos, niveles y paradigmas*, Bahía Blanca, Argentina: Universidad Nacional del Sur, Publicado en Informaciones Agronómicas del cono Sur, N° 17. Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/534D14253032A779852579990061D95B/\\$FILE/RonCalibraci%C3%B3n%20de%20an%C3%A1lisis%20de%20Suelos.pdf](http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/534D14253032A779852579990061D95B/$FILE/RonCalibraci%C3%B3n%20de%20an%C3%A1lisis%20de%20Suelos.pdf)

Steel, R. & Torrie, J. (1992). *Bioestadística: Principios y procedimientos*, México, D.F. México: McGraw Hill Interamericana.

Vargas, A. (1990). *Respuesta del pejibaye para fruta a dosis crecientes de N, P y K en la región Atlántica de Costa Rica*. (Informe técnico anual No 10). San José, Costa Rica.

Villachica, H. (1996). *Cultivo del Pijuayo (Bactris gasipaes Kunth) para palmito en la Amazonia*, Lima, Perú.

Zamora, C. (1990). *El Programa Nacional de Palmito de Pejibaye (P.N.P.)*, Asbana, Costa Rica, pp. 22-26.

ANEXOS

Anexo 1. Esquema de la metodología utilizada en la investigación.



1.- Identificación de sitios de muestreo



2.- Muestreo foliar



3.- Selección de hoja 3 según filotaxia del cultivo



4.- Selección de folíolos del tercio medio



5.- Empaque de la muestra para análisis foliar



6.- Selección de cultivos comerciales



7.- Marcación del área de muestreo



7.- Toma de muestras a 20 cm de profundidad



8.- Identificación de muestras para envío a laboratorio



9.- Procesamiento de muestras



10.- Laboratorio INIAP, Estación Experimental Santa Catalina.

Anexo 2. Características de los suelos usados en la investigación, pertenecientes al orden andisoles, producción y rendimiento relativo del palmito, en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas

Muestra	MO %	pH	K ----- cmol(+)/dm ³ -----	Ca	Mg	P	S	Fe	Zn	Cu	Mn	Fe	B	Productividad -- tallos/ha --	Rendimiento relativo %
									----- mg/dm ³ -----						
1	3,9	5,6	0,13	2,1	0,5	4,4	5,1	137	3,7	8,2	3,1	137	0,3	6879	63
2	3,4	5,3	0,10	2,0	0,3	4,0	2,8	126	3,2	5,8	3,0	126	0,3	5162	47
3	2,8	5,3	0,19	1,2	0,4	3,0	2,4	111	2,2	5,0	2,4	111	0,2	7175	46
4	3,8	5,4	0,15	2,4	0,5	5,0	3,5	96	1,6	4,3	2,6	96	0,3	5779	53
5	4,3	5,7	0,12	2,8	0,5	7,5	5,0	91	2,5	6,3	1,5	91	0,4	6857	63
6	3,7	5,8	0,16	3,2	0,7	7,9	4,0	105	2,2	6,5	2,1	105	0,3	7101	65
7	3,9	5,8	0,21	3,4	0,7	8,0	4,3	130	2,4	6,0	2,2	130	0,4	7240	66
8	3,6	6,1	0,28	3,3	0,6	6,7	5,2	102	2,3	4,6	2,2	102	0,3	7101	65
9	3,6	5,6	0,19	3,1	0,6	6,7	3,7	111	1,9	5,0	2,6	111	0,3	6325	58
10	5,2	5,8	0,24	4,1	0,7	6,3	5,8	127	1,6	5,4	2,0	127	0,4	7985	73
11	5,4	6,1	0,24	4,2	0,8	9,0	5,6	96	2,0	5,7	1,3	96	0,4	8345	76
12	5,2	6,2	0,35	4,1	0,8	9,0	6,1	106	2,1	5,1	2,0	106	0,4	8500	78
13	6,3	6,2	0,76	6,7	0,9	17,7	12,0	192	3,4	5,1	2,5	170	0,6	9543	87
14	4,7	6,1	0,48	7,0	0,9	10,0	6,0	239	4,0	6,6	2,7	138	0,4	8547	78
15	9,5	6,2	0,56	5,0	1,4	11,0	7,2	189	3,3	6,6	2,7	169	0,6	9678	88
16	3,6	5,5	0,18	2,8	0,6	4,5	4,0	140	4,8	4,9	2,3	140	0,3	6336	58
17	3,9	5,9	0,24	3,0	0,6	7,0	4,7	107	4,0	5,0	2,4	107	0,3	6895	63
18	4,6	5,9	0,31	3,5	0,7	22,0	5,2	82	4,8	5,3	1,8	135	0,4	7895	72
19	7,5	6,2	0,95	5,6	1,2	14,0	9,5	187	3,8	6,9	3,0	166	0,5	10958	100
20	9,0	6,3	1,20	6,5	1,0	11,0	11,0	156	3,5	5,6	2,6	159	0,6	9785	89

Anexo 3. Porcentaje de saturación de Al de diferentes muestras de suelos, pertenecientes al orden andisoles, dedicados al cultivo de palmito, en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas

Muestra	Saturación de Al (%)	Rendimiento relativo (%)
1	20	93
2	29	77
3	30	78
4	34	74
5	23	75
6	27	74
7	28	91
8	26	91
9	41	62
10	28	63
11	22	99
12	36	79
13	27	87
14	23	78
15	28	77
16	32	63
17	34	66
18	40	53
19	18	96

Anexo 4. Resultados de análisis foliares de plantas de palmito, creciendo en suelos pertenecientes al orden andisoles, dedicados al cultivo comercial palmito, en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas

Muestra	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	dag/kg						mg/kg				
1	2,40	0,22	1,00	0,40	0,17	0,21	236,6	31,9	19,5	19,7	4,6
2	2,00	0,15	0,80	0,22	0,12	0,17	201,0	27,3	14,5	20,5	5,3
3	2,20	0,17	0,70	0,18	0,10	0,18	195,4	24,6	13,3	18,5	5,7
4	2,60	0,19	0,90	0,29	0,12	0,19	279,7	54,6	17,1	23,7	6,5
5	3,00	0,15	1,10	0,31	0,17	0,23	216,3	35,6	21,3	25,6	5,9
6	3,20	0,21	1,12	0,36	0,19	0,20	238,6	50,1	15,2	27,0	5,8
7	2,84	0,17	1,05	0,32	0,18	0,21	201,5	35,0	17,2	29,5	7,5
8	2,84	0,18	1,17	0,32	0,16	0,22	292,5	31,2	18,8	43,6	7,5
9	2,55	0,21	0,89	0,20	0,14	0,19	195,3	31,8	16,4	41,9	6,5
10	4,51	0,23	1,20	0,44	0,17	0,23	182,0	35,6	19,4	24,9	6,6
11	3,86	0,23	1,20	0,39	0,16	0,22	187,6	37,7	17,9	35,1	11,5
12	3,57	0,25	1,30	0,54	0,22	0,22	305,1	37,9	18,5	40,2	8,8
13	3,40	0,28	1,35	0,55	0,23	0,29	120,5	38,6	18,3	25,7	10,6
14	3,28	0,20	1,70	0,44	0,20	0,23	143,1	35,6	17,7	27,0	15,7
15	3,50	0,32	1,40	0,65	0,30	0,27	123,6	48,8	19,5	27,8	13,3
16	2,00	0,17	0,82	0,24	0,13	0,21	179,2	31,9	14,7	21,0	5,7
17	2,90	0,21	0,90	0,36	0,20	0,20	168,4	33,2	18,6	23,1	17,2
18	3,28	0,17	1,11	1,17	0,36	0,21	239,0	34,5	20,6	22,6	6,5
19	4,00	0,25	1,56	1,10	0,33	0,26	155,0	42,9	21,3	33,7	14,6
20	3,80	0,29	1,30	0,91	0,27	0,24	142,0	41,3	19,7	31,1	11,5

Anexo 5. Niveles críticos de los nutrientes y los valores de pH y MO en Andisoles de Santo Domingo de los Tsáchilas, cultivados con palmito, resultado de esta investigación

Elemento	Unidad	Nivel crítico
pH (H ₂ O)		6,30
Materia orgánica	(%)	6,50
Fósforo	(mg/dm ³)	12,26
Calcio	(cmol (+)/dm ³)	5,06
Magnesio	(cmol (+)/dm ³)	0,97
Potasio	(cmol (+)/dm ³)	0,67
Aluminio	(cmol (+)/dm ³)	1,00
Saturación de Al	(%)	20,00
Azufre	(mg/dm ³)	7,54
Hierro	(mg/dm ³)	161,00
Manganeso	(mg/dm ³)	10,64
Cobre	(mg/dm ³)	6,29
Zinc	(mg/dm ³)	4,42
Boro	(mg/dm ³)	0,51

§ = Valores estimados con el 90 % del rendimiento relativo potencial.

Anexo 6. Niveles críticos de los nutrientes a nivel foliar en el cultivo de palmito, en Santo Domingo de los Tsáchilas, resultantes en esta investigación

Elemento	Unidad	Nivel crítico
Nitrógeno	(dag/kg)	3,86
Fósforo	(dag/kg)	0,30
Potasio	(dag/kg)	1,40
Calcio	(dag/kg)	0,67
Magnesio	(dag/kg)	0,27
Azufre	(dag/kg)	0,26
Hierro	(mg/kg)	124,00
Manganeso	(mg/kg)	41,45
Cobre	(mg/kg)	24,76
Zinc	(mg/kg)	35,72
Boro	(mg/kg)	12,40

§ = Valores estimados con el 90 % del rendimiento relativo potencial.

Anexo 7. Tabla de interpretación¹ de análisis foliar para palmito, empleado por el laboratorio del INIAP Estación Experimental Santa Catalina

ELEMENTO	NIVELES ¹			
	Deficiente [§]	Bajo	Suficiente	Alto
N	1,4	< 2,5	2,5 - 3,5	3,5 - 4,0
P	0,06	< 0,1	0,1 - 0,3	> 0,3
K	0,5	< 1,0	1,0 - 2,0	> 2
Ca	0,15	< 0,4	0,4 - 0,6	> 0,6
Mg	0,2	< 0,25	0,25 - 0,4	> 0,4
S	0,07	< 0,15	0,15 - 0,3	> 0,3
Fe	-	< 50	50 - 200	> 200
Mn	-	< 60	60 - 200	> 200
Cu	-	< 5	5,0 - 15	> 15
Zn	-	< 15	15 - 50	> 50
B	-	< 10	10 - 40	> 40

¹ Adaptado por: Laboratorio de suelos y foliares, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica CIA/UCR. [§] Valor adaptado de la Torraca et al. (1984), Editado por: Molina (2000).

Anexo 8. Autorización para uso de resultados de análisis emitido por INAEXPO

Los Naranjos N 4415 y
Av. de Los Granados
Telf.: (593-2) 3976400
Fax.: (593-2) 2467016
Casilla: 17-17-1462
QUITO - ECUADOR
www.inaexpo.com



Santo Domingo, 16 de junio del 2015

AUTORIZACIÓN

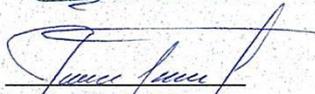
Por medio de la presente, AUTORIZO al Ing. Carlos Julio Quezada Crespo, portador de cédula de identidad # 171688839-9, estudiante de Posgrados de la Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE); para que pueda hacer uso de la base de datos de "Análisis de Suelos y Foliare" de agricultores integrados a la compañía INAEXPO C.A., sin publicar el nombre de las fincas y/o propietarios.

Esta base se utilizó para el Proyecto de Investigación titulado "DETERMINACIÓN DE NIVELES CRÍTICOS DE NUTRIMENTOS EN EL SUELO Y FOLLAJE EN EL CULTIVO DE PALMITO (*Bactris gasipaes* Kunth) EN LA ZONA DE SANTO DOMINGO".

Faculto al interesado pueda hacer uso de esta Autorización, exclusivamente para los fines que se indican.

Atentamente,




Ing. José Cabrera
GÉRENTE AGRÍCOLA
Negocio Palmito
Teléfono: 022-744-379 ext. 276

