

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

EVALUACION DE LOS ELEMENTOS NUTRIMENTALES,
P, K, Ca Y Mg, EN FORMAS QUIMICAMENTE DISPONIBLES Y DEL pH EN
SUELOS CAFETALEROS DEL DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS



Guatemala, mayo de 1996

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
06
T(1770)

**JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA**

Lic. Jorge Rodolfo Pérez Folgar	DECANO
Lic. Miguel Angel Herrera Gálvez	Vocal Primero
Lic. Gerardo Leonel Arroyo Catalán	Vocal Segundo
Lic. Rodrigo Herrera San José	Vocal Tercero
Br. Ana María Rodas Cardona	Vocal Cuarto
Br. Hayro Oswaldo García García	Vocal Quinto
Licda. Ana Lucrecia Fortuny de Armas	Secretaria

ACTO QUE DEDICO

A: MI FAMILIA

Sigfredo Calderón Alvarado
Aura Barillas de Calderón

Siomara Calderón Barillas
Sigfredo Calderón Barillas
César Calderón Barillas

Edson Barillas
Carla Barillas

Gustavo Hernández Arreaga
Diego Adolfo Hernández Calderón

Por su cariño y apoyo de siempre.

A: LA FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA.

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

AGRADECIMIENTO

A MI ASESOR

Ing. Humberto Jiménez García
Por su valiosa ayuda a lo largo de la realización de este trabajo.

A MIS CATEDRATICAS

Lic. Jeanette Wiler Parel
Lic. María Eugenia Domínguez
Por la supervisión, revisión y ayuda brindada en la elaboración del trabajo.

Al Doctor Francisco Anzueto
Por su amistad y consejos los cuales valoro grandemente.

Ingeniero Michel Barel
Por su valiosa ayuda que fue determinante para la conclusión del trabajo.

A LA DIVISION DE ASUNTOS AGRICOLAS Y AL PERSONAL DEL LABORATORIO DE SUELOS DE LA ASOCIACION NACIONAL DEL CAFE

Especialmente a Ing. Rudy Sierra
Don Adolmiro de León
Olga Castro de Lam
Mariela Ramírez de Rodas
Por su amistad y valiosa colaboración.

INDICE

CONTENIDO	PAGINA
1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCION	2
3. ANTECEDENTES	3
4. JUSTIFICACIONES	7
5. OBJETIVOS	8
6. HIPOTESIS	9
7. MATERIALES Y METODOS	10
8. RESULTADOS	16
9. DISCUSION DE RESULTADOS	20
10. CONCLUSIONES	23
11. RECOMENDACIONES	24
12. REFERENCIAS	25
12. ANEXOS	27

1. RESUMEN

En este trabajo se pretende evaluar la variación de la concentración de los iones P, K, Ca y Mg presentes en los suelos, los cuales son algunos de los indicadores de su fertilidad natural, así como la variación del pH, pues de su valor depende en gran parte la disponibilidad de los iones en el suelo, y que son utilizados por las plantas para su normal crecimiento.

Para evaluar la variación de la concentración de los iones antes mencionados, se utilizaron datos de muestras provenientes de la región cafetalera del departamento de San Marcos analizadas durante los años de 1988 a 1993 en el Laboratorio de Suelos y Nutrición Mineral de ANACAFE. Para el análisis químico de muestras se empleó la solución de Mehlich I (Carolina del Norte), que extrae del suelo los iones, así como una dilución del suelo en agua para determinar el pH.

Un análisis estadístico de los datos antes mencionados permitió formular algunas conclusiones. Se encontró que en la región estudiada no existe variabilidad del pH y tampoco de la concentración de los elementos P, K, Ca y Mg con relación al tiempo, pero que sí hay diferencia entre municipios con respecto a las variables respuesta, es decir que cada municipio posee características propias en cuanto a fertilidad. Con esta información se espera orientar al caficultor sobre el uso adecuado de fertilizantes y tratar de conservar la fertilidad natural de los suelos reduciendo sustancialmente la contaminación ambiental.

2. INTRODUCCION

En Guatemala la agricultura ha constituido la principal fuente de ingresos económicos para la mayor parte de la población, existiendo en el país gran diversidad de cultivos, los cuales obtienen del suelo los iones esenciales para la nutrición, así como las condiciones de acidez o alcalinidad adecuadas para su desarrollo.

Entre los cultivos existentes en el país, el café es uno de los que genera mayores ingresos de divisas, siendo por lo tanto de suma importancia evaluar la concentración de iones nutrimentales de los suelos del área cafetalera, con la finalidad de conocer qué tan susceptibles son a deteriorarse como consecuencia de la intensa aplicación de diferentes clases de insumos agrícolas que repercutirán en la reducción de su fertilidad natural.

La fertilidad es vital para un suelo productivo. Pero existen muchos factores que pueden limitar la producción, como por ejemplo drenaje insuficiente, insectos y sequía, además de aquellos que controlan el crecimiento de las plantas como el aire, temperatura, luz, soporte mecánico, nutrimentos y agua. La planta depende del suelo en forma total o parcial para el suministro de estos factores, con excepción de la luz. Cada uno de ellos afecta en forma directa el crecimiento de la planta y está relacionado uno con el otro.

El estudio de la variación de los elementos P, K, Ca y Mg, así como del pH de los suelos de la región cafetalera del departamento de San Marcos, se realizó con el propósito de obtener información acerca del estado nutrimental de éstos en la región, para poderla utilizar posteriormente en la elaboración de programas de fertilización adecuados a las necesidades reales de los suelos, evitando su deterioro y gastos innecesarios.

3. ANTECEDENTES

En el análisis del estado nutricional de un suelo, usando métodos químicos, se han dado diferentes pasos buscando aquellos que sean los más adecuados. Jackson (1), indica que en primer lugar se trató de encontrar la correlación que existe entre el contenido total de un determinado nutrimento por estudiarse y la producción vegetal.

Waugh, Cate y Nelson (2, 3), indican que el propósito básico de la evaluación de la fertilidad de un suelo es de proveer información del estado nutricional de éste y el de predecir la respuesta relativa a los nutrimentos aplicados. Además presentaron una técnica práctica y sencilla para realizar correlaciones de los resultados de análisis de suelos con información de la respuesta de las plantas. Esta técnica establece un nivel crítico que separa el valor de los análisis en dos grupos: suelos con alta probabilidad de respuesta al aplicarse fertilizante y suelos con poca probabilidad de respuesta.

Hunter y Fitts (4), dicen que el propósito del análisis del suelo es obtener información que pueda usarse para tomar decisiones en el uso de fertilizantes y otras enmiendas de suelo. También indican que para analizar y ajustar niveles críticos de acuerdo a condiciones ambientales de campo es necesario llevar a cabo una cantidad relativamente grande de ensayos. Por lo que recomiendan llevar a cabo experimentos sencillos para conducir mayor número de ensayos.

Fitts y colaboradores (5), llevaron a cabo, a partir de junio de 1963, un reconocimiento del trabajo realizado por los laboratorios de análisis de suelos y plantas de América Latina, en relación a las seis fases que componen un buen programa de análisis de suelos. Encontraron que, con respecto a la correlación de métodos analíticos, en general no se habían conducido ensayos y demostraciones de campo con el fin de usar los datos para correlacionar pruebas de suelos, y que muy pocos estudios de invernadero se habían realizado para este propósito. Indican que ningún país disponía de un número suficiente de análisis de suelos que justificaran la preparación de un sumario abarcando todo el país. Sin embargo reconocen que existían áreas esparcidas dentro de los países donde el número de muestras analizadas era suficiente para facilitar la elaboración de sumarios sobre los resultados obtenidos. Esto es factible donde la información disponible ha sido acumulada durante varios años.

Valencia y colaboradores (6) en 1975 en Guatemala, demostraron que existe diferencia en los resultados de experimentos en invernadero y los obtenidos en experimentos de campo. Establecieron que los niveles críticos para fósforo (P) y potasio (K) encontrados en invernadero fueron de 19 $\mu\text{g/ml}$ y de 140 $\mu\text{g/ml}$ respectivamente y que los valores de campo correspondientes eran de 7 y 60 $\mu\text{g/ml}$. La mayor exigencia en invernadero se debe a la menor cantidad de suelo en la cual las plantas se encuentran, comparada con la condición del campo donde existe más suelo por planta.

En 1976 Brolo (7), realizó una evaluación del contenido de fósforo (P) y potasio (K) disponibles en los suelos de Guatemala, usando los niveles críticos recomendados por Valencia y colaboradores, mediante la sumarización de los datos de análisis de suelos de 80,746 muestras analizadas durante los años de 1968 a 1975 en el Instituto de Ciencia y Tecnología (ICTA), estableciendo una distribución porcentual de los casos a nivel nacional.

Indica que el 10% de las muestras correspondieron a la categoría de P y K deficientes; el 45.7% a la categoría de P deficiente y K adecuado; el 4.4% a la categoría de P adecuado y K deficiente y el 39.9% a la categoría de P y K adecuados. Estableció que el 55.7% de las muestras acusaron deficiencias de fósforo y el 14.5% deficiencia de potasio, siendo a nivel nacional, Alta Verapaz y Petén los departamentos que mayor deficiencia presentaron lo cual atribuye al material original de estos suelos y el efecto de la alta precipitación pluvial. Establece que San Marcos no presenta deficiencia de fósforo y potasio lo cual atribuye a la fertilidad natural de los suelos y al efecto residual de fertilización usada en cultivos de alta rentabilidad.

Miyares (8), en 1977, llevó a cabo un estudio para evaluar el grado de acidez y alcalinidad de los suelos de Guatemala. Realizó una sumarización de los resultados de los análisis del pH de 80,740 muestras de suelos provenientes de todo el país. Estableció cinco categorías de pH distribuyendo los resultados en forma porcentual. Encontró para las regiones agrícolas del país que el 0.3% de las muestras corresponde a pH menor de 4.5; el 1.8% corresponde a la categoría de pH 4.6 - 5.0; el 28.9% de 5.1 - 6.0; el 58.5% de 6.1 - 7.2 y el 10.5% a un pH mayor de 7.3, de lo que deduce que la mayoría de los suelos de Guatemala tienen condiciones adecuadas en cuanto a su pH, ya que toma como valores adecuados para el cultivo el rango de 6.1 - 7.2.

Por otro lado, estableció que los datos de muestras provenientes del

INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
C. A. BROLO

departamento de San Marcos, los municipios de Nuevo Progreso, El Tumbador, San José El Rodeo, Malacatán y La Reforma se encuentran en la categoría de pH 4.6 - 5.0 por lo que considera a ésta, como una región con posibles problemas de acidez en sus suelos.

Del Valle (9), indica que en 1973 fue creado el Laboratorio de Suelos y Nutrición Mineral de la Asociación Nacional del Café, ANACAFE, dentro del programa que la Universidad de Carolina del Norte (USA) desarrolló en distintos países latinoamericanos para la Evaluación de la Fertilidad del Suelo. A partir de ese momento hasta el año de 1989 se ha diseñado, conducido y evaluado investigación a nivel de laboratorio, invernadero y campo, lo cual ha permitido, entre otras cosas, definir los niveles críticos para fósforo y potasio, así como establecer rangos de pH en los que las plantas de café tienen un desarrollo óptimo. Además el laboratorio cuenta con los datos de muestras de suelos cafetaleros, analizadas desde el inicio del laboratorio hasta el año de 1993.

Simmons (10), realizó en 1959 una clasificación de los suelos de Guatemala determinando que San Marcos es el primer departamento productor de café. Sus suelos están bien drenados, son fáciles de labrar y son productivos. Los municipios de San Rafael Pie de la Cuesta (1), Nuevo Progreso (2), El Tumbador (3), San José El Rodeo (4), Malacatán (5), El Quetzal (6) y La Reforma (7) (ver mapa No. 1 pag 41), según la división fisiográfica presentada en ese estudio, se encuentran en una zona denominada Declive del Pacífico. Dicha zona comprende la cuarta parte del área del departamento, pero que todo el café es producido en ella (ver mapa No. 2 pag 43). Los suelos no son pedregosos, se encuentran sobre material volcánico reciente que se acumuló durante la erupción del Volcán Santa María en 1902. El clima en el Declive del Pacífico es cálido y húmedo. La precipitación pluvial aumenta tierra adentro, desde los 1000 mm en la costa hasta más de 4000 mm a altitudes entre 600 y 1,500 m. Solamente los meses de enero y febrero son por lo general secos. La temperatura máxima promedio en esta región es de 34.5°C en las regiones más bajas y una mínima promedio de 17.9°C en las partes altas.

Alvarado (11), en 1984 llevó a cabo una caracterización de los suelos del área cafetalera de Guatemala. Indica que en el área donde se encuentra localizado San Marcos se aprecia una alta degradación de los suelos tanto

física como química por efectos de la acción geológica. Los suelos se han desarrollado sobre ceniza volcánica y material volcánico reciente. Tienen texturas de franco-arcillosa a arcillosas, de color café oscuro, rojizo o amarillento. Son suelos de alta susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica.

Sumner y colaboradores (12), en 1992 realizaron una caracterización de los suelos cafetaleros del área sur del país. Al igual que Simmons y Alvarado, Sumner y colaboradores indican que el origen de los suelos del área cafetalera del departamento de San Marcos, es volcánico, desarrollado sobre ceniza de la era cuaternaria. Son suelos fácilmente erosionables. La red de drenaje no está completamente desarrollada. Durante la erupción del volcán Santa María en 1902, aproximadamente 5.5 Km³ de cenizas y de otros materiales piroclásticos fueron arrojados en esa área. La composición del material volcánico ha sido descrito como dacitas o riolitas con contenidos bajos de cationes básicos e indican además que las cenizas son ácidas.

A pesar de que Sumner y colaboradores indican haber muestreado toda el área cafetalera del departamento de San Marcos, únicamente reportan los resultados obtenidos en el municipio de El Tumbador. Reportan suelos con humedad media-alta, alta velocidad de infiltración, hay riesgo de erosión, buen nivel de drenaje y no hay impedimento para el enraizamiento de la planta. Químicamente reportan que hay baja saturación de bases y alto riesgo de toxicidad de aluminio. Los niveles de calcio y en particular de magnesio son extremadamente bajos. Los suelos poseen un alto potencial para fijar fósforo pero los niveles iniciales de fósforo disponibles son bajos, indicando además que las reservas de potasio son muy bajas.

4. JUSTIFICACIONES

Los suelos son el medio en el cual los cultivos se desarrollan, ya que además de constituirse en la masa que sostiene a las plantas, provee de los elementos necesarios para su subsistencia. Este sistema se encuentra en una constante interacción de sus elementos llevándose a cabo cambios químicos, biológicos y físicos, a los que hay que agregar el efecto causado por las fertilizaciones a las que son sometidos los suelos cultivados.

La fertilidad natural de un suelo se ve afectada por la variación en la concentración de los iones nutritivos que lo componen, lo cual en gran parte es provocado por la intensa aplicación de diversos insumos agrícolas de forma inadecuada.

Debido a su posición geográfica y disposición climática, Guatemala posee suelos fértiles que permiten la adaptación y producción de distintos cultivos de los cuales el café es uno de los principales generadores de ingreso de divisas, por lo que el conocimiento del estado actual de los suelos del área cafetalera, con respecto a la disponibilidad de iones nutritivos, es necesario para definir las categorías de fertilidad en la que se encuentran éstos y orientar al caficultor sobre la forma de establecer programas de fertilización adecuados que enriquezcan al suelo sin provocar daño al medio ambiente manteniendo de esta forma un equilibrio ecológico.

Debido a que actualmente se desconoce el efecto residual de los iones nutritivos agregados al suelo por medio de los fertilizantes y los aportados en forma natural por éste, se hace necesario el presente estudio, el cual pretende contribuir, al aprovechamiento racional del suelo de estas áreas.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer la variabilidad del pH, así como de las diferentes categorías de concentración de los iones presentes en los suelos de la zona cafetalera del departamento de San Marcos, para los nutrimentos P, K, Ca y Mg a través del tiempo.

5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 5.2.1 Establecer el grado de acidez o alcalinidad de los suelos de la zona cafetalera del departamento de San Marcos dentro del período comprendido de 1988 a 1993.
- 5.2.2 Establecer la variabilidad en las concentraciones de Ca, Mg, K y P en suelos de la región cafetalera del departamento de San Marcos durante el período comprendido de 1988 a 1993.

6. HIPOTESIS

En los suelos de la región cafetalera de San Marcos, existe variabilidad iónica de los elementos P, K, Ca y Mg al igual que del pH en relación al tiempo.

7. MATERIALES Y METODOS

7.1 UNIVERSO DE TRABAJO

Datos de análisis de muestras de suelos provenientes de la región cafetalera del departamento de San Marcos, en el periodo comprendido de octubre de 1988 a septiembre de 1993.

7.2 MEDIOS

7.2.1 RECURSOS HUMANOS

Sandra Roxana Calderón Barillas (Ejecutor del Trabajo)

Ing. Químico Oscar Humberto Jiménez García (Asesor)

7.2.2 RECURSOS MATERIALES

El equipo, material y reactivos para realizar el trabajo de investigación, así como los datos de análisis de muestras de los últimos cinco años, fueron proporcionados por el Laboratorio de Suelos y Nutrición Mineral y Banco de Datos de la Asociación Nacional del Café, (ANACAFE).

7.2.2.1 EQUIPO

- Potenciómetro Orion 720 A
- Espectrofotómetro Perkin-Elmer Junior Modelo 35
- Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer modelo 3100
- Agitador Custom
- Dispensadores Custom
- Computadora
- Destilador Wheaton autostill 5
- Bandejas con 30 recipientes de muestreo
- Beaker 250 ml
- Varillas de agitación
- Balones aforados de 1000 ml
- Balones aforados de 500 ml
- Probetas de 100 ml
- Balanza analítica Metler 460 PM
- Recipientes de 5 galones
- Papel filtro Whatman No. 2
- Papel encerado
- Tamiz de 2 mm

7.2.2.2 REACTIVOS

- Agua destilada
- Oxido de lantano g.a.
- Cloruro de sodio g.a.
- Acido clorhídrico 37% g.a.
- Acido sulfúrico 97% g.a.
- Molibdato de amonio g.a.
- Acido ascórbico g.a.
- Nitrato de bismuto pentahidratado g.a.
- Cloruro de potasio g.a.
- Cloruro de calcio g.a.
- Cloruro de magnesio g.a.
- Fosfato diácido de potasio g.a.

7.2.3 PROCEDIMIENTOS⁽¹³⁾

7.2.3.1 TRATAMIENTO DE LA MUESTRA

- 7.2.3.1.1 La toma de muestra sigue la técnica recomendada por Cate⁽²⁾, la cual consiste en tomar muestras representativas de suelo. El muestreo consiste en definir áreas homogéneas de terreno y extraer porciones de suelo con una profundidad de 20 cms y su posterior mezcla para obtener una sola muestra compuesta.
- 7.2.3.1.2 En el laboratorio se le asigna a la muestra un número correlativo de ingreso.
- 7.2.3.1.3 La primera fase en el proceso de análisis de la muestra consiste en el secado de ésta. Para el efecto, se coloca la muestra en un cuarto con calefactores a 30°C con circulación de aire, donde debe permanecer todo el tiempo que sea necesario para obtener una muestra completamente seca para que pueda pasar por un tamiz.
- 7.2.3.1.4 Cada muestra se homogeniza utilizando un tamiz de 2 mm y se coloca en cajas de cartón en espera de su turno de análisis.

7.2.3.2 ANALISIS QUIMICO DE LA MUESTRA

7.2.3.2.1 PREPARACION DE FILTRADOS.

- 7.2.3.2.1.1 Para el análisis de P, K, Ca y Mg de cada muestra ya secada y homogeneizada se utiliza una solución extractora Mellich I (Carolina del Norte) 0.05 N en HCl y 0.025 N en H₂SO₄.
- 7.2.3.2.1.2 A cada muestra se le agrega la solución extractora en relación 1:5 (5 cc. de suelo y 25 ml de solución extractora), la cual se agita durante 5 minutos. Posteriormente la solución es filtrada utilizando papel Wathman No.2, con lo cual se obtiene un filtrado que es utilizado en la cuantificación de los elementos.

7.2.3.2.2 DETERMINACION DE FOSFORO

- 7.2.3.2.2.1 Se prepara una curva de calibración con soluciones estándar de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 ppm de KH₂PO₄. A una alícuota de 2 ml de cada estándar se le agrega 16 ml del reactivo "B", dejándolo en reposo durante 20 minutos para que se desarrolle color (desde celeste a azul intenso).

7.2.3.2.2.2 A continuación el mismo procedimiento se lleva a cabo con 2 ml de cada muestra.

7.2.3.2.2.3 Se calibra el espectrofotómetro con los estándares a una longitud de onda de 610 nm y se procede a leer las muestras.

7.2.3.2.3 PREPARACION DE REACTIVO "A":

7.2.3.2.3.1 Se disuelven 11 g de Nitrato de Bismuto en 800 ml de agua destilada.

7.2.3.2.3.2 Se agregan 250 ml de ácido sulfúrico.

7.2.3.2.3.3 Se disuelven 15 g de Molibdato de Amonio en 400 ml de agua.

7.2.3.2.3.4 Se mezclan las soluciones y la mezcla se afora a 2 l con agua destilada.

7.2.3.2.4 PREPARACION DE REACTIVO "B"

7.2.3.2.4.1 Se disuelve 1 g de ácido ascórbico en 100 ml de reactivo "A."

7.2.3.2.4.2 Se afora a 1 litro con agua destilada.

7.2.3.2.5 DETERMINACION DE POTASIO

7.2.3.2.5.1 Se preparan estándares de KCl de 25, 50 y 100 ppm para elaborar una curva de calibración.

7.2.3.2.5.2 A una alícuota de 1 ml de cada estándar se le agregan 24 ml de una solución 0.12 % de NaCl.

7.2.3.2.5.3 Se coloca la lámpara de potasio en el espectrofotómetro de absorción atómica y se procede a leer los estándares ya preparados, a una longitud de onda de 767.18 nm.

7.2.3.2.5.4 A una alícuota de 1 ml de cada muestra se le agrega 24 ml de NaCl 0.12 %.

7.2.3.2.5.5 Se leen las muestras.

7.2.3.2.6 DETERMINACION DE CALCIO

7.2.3.2.6.1 Se preparan estándares de CaCO₃ de 75, 150 y 300 ppm para elaborar una curva de calibración.

- 7.2.3.2.6.2 A una alícuota de 1 ml de cada estándar se le agregan 24 ml de una solución 0.25% de La_2O_3 .
- 7.2.3.2.6.3 Se coloca la lámpara de calcio en el espectrofotómetro de absorción atómica y se procede a leer los estándares ya preparados, a una longitud de onda de 422.70 nm.
- 7.2.3.2.6.4 A una alícuota de 1 ml de muestra se le agrega 24 ml de la solución de óxido de lantano 0.25%.
- 7.2.3.2.6.5 Se leen las muestras.

7.2.3.2.7 DETERMINACION DE MAGNESIO

- 7.2.3.2.7.1 Se preparan estándares de MgO de 25, 50 y 75 ppm para elaborar una curva de calibración.
- 7.2.3.2.7.2 A una alícuota de 1 ml de cada estándar se le agregan 24 ml de una solución 0.25% de La_2O_3 .
- 7.2.3.2.7.3 Se coloca la lámpara de magnesio en el espectrofotómetro de absorción atómica y se procede a leer los estándares ya preparados, a una longitud de onda de 285.20 nm.
- 7.2.3.2.7.4 A una alícuota de 1 ml de muestra se le agregan 24 ml de la solución de óxido de Lantano 0.25%.
- 7.2.3.2.7.5 Se leen las muestras.

7.2.3.2.8 DETERMINACION DE pH

De cada muestra se prepara una suspensión suelo-agua en relación 1:2.5 (10 cc. de suelo en 25 ml de agua). Se agita durante 10 minutos y se hacen las lecturas en un potenciómetro ORION 720A previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4, 7 y 9.

7.2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para medir el efecto del tiempo y el espacio sobre el pH y las concentraciones de P, K, Ca y Mg, se utilizó un diseño completo azar con arreglo en parcelas divididas. Los factores a estudiar fueron los siguientes:

municipios (factor A)

años (factor B)

Los municipios del área cafetalera del departamento de San Marcos son siete y se analizaron tres fincas en cada uno, para hacer un total de veitium fincas. Los años a comparar fueron cinco. El año cafetalero comienza en octubre y finaliza en septiembre del siguiente año comercial. Los años para el estudio fueron denominados periodos: **P1** (1988/1989), **P2** (1989/1990), **P3** (1990/1991), **P4** (1991/1992) y **P5** (1992/1993).

Las variables respuesta fueron 5 (pH, P, K, Ca y Mg) de las cuales existen tres réplicas para cada muestra de suelo proveniente de cada finca, durante los cinco años.

El análisis estadístico consistió en análisis de varianza y para hacer comparaciones multiples se utilizó el test de Student-Newman-Keuls (SNK).

8. RESULTADOS

TABLA 1

Análisis de Varianza
Variable Dependiente: pH

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	Fc	Pr > F	INTERPRETACION ESTADISTICA
MUNICIPIO	6	14.01	2.34	79.69	0.0001	**
Error (a)	14	0.41	0.03			
PERIODO	4	0.31	0.07	0.82	0.5152	NS
MUNI*PER	24	2.83	0.12	1.23	0.2122	NS
Error (b)	266	25.45	0.09			
Total	314	43.02				

TABLA 2

Análisis de Varianza
Variable Dependiente: P

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	Fc	Pr > F	INTERPRETACION ESTADISTICA
MUNICIPIO	6	55356.60	9226.10	65542.99	0.0001	**
Error (a)	14	1.97	0.14			
PERIODO	4	57.52	14.38	0.23	0.9235	NS
MUNI*PER	24	298.61	12.44	0.20	1.0000	NS
Error (b)	266	16901.97	63.54			
Total	314	72616.68				

TABLA 3

Análisis de Varianza

Variable Dependiente: K

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	Fc	Pr > F	INTERPRETACION ESTADISTICA
MUNICIPIO	6	414512.27	69085.38	99999.99	0.0001	**
Error (a)	14	5.89	0.42			
PERIODO	4	1462.22	365.55	0.42	0.7957	NS
MUNI*PER	24	1436.68	59.86	0.07	1.0000	NS
Error (b)	266	232717.26	874.88			
Total	314	650134.31				

TABLA 4

Análisis de Varianza

Variable Dependiente: Ca

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	Fc	Pr > F	INTERPRETACION ESTADISTICA
MUNICIPIO	6	132.34	22.06	1224.10	0.0001	**
Error (a)	14	0.25	0.02			
PERIODO	4	1.37	0.34	0.33	0.8547	NS
MUNI*PER	24	12.04	0.50	0.49	0.9804	NS
Error (b)	266	272.90	1.03			
Total	314	418.91				

TABLA 5

Análisis de Varianza

Variable Dependiente: Mg

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	Fc	Pr > F	INTERPRETACION ESTADISTICA
MUNICIPIO	6	40.08	6.68	17204.85	0.0001	**
Error (a)	14	0.01	0.00			
PERIODO	4	0.58	0.14	0.61	0.6589	NS
MUNI*PER	24	3.04	0.13	0.53	0.9687	NS
Error (b)	266	64.16	0.24			
Total	314	107.87				

TABLA 6

Test Student-Newman-Keuls para la variable pH
Efecto MUNICIPIO

MUNICIPIO	MEDIA	GRUPOS SNK
LA REFORMA	5.97	A
EL TUMBADOR	5.83	B
SAN JOSE EL RODEO	5.82	B
NUEVO PROGRESO	5.61	C
MALACATAN	5.61	C
SAN RAFAEL PDLIC	5.42	D
EL QUETZAL	5.34	E

TABLA 7

Test Student-Newman-Keuls para la variable P en ug/ml
Efecto MUNICIPIO

MUNICIPIO	MEDIA	GRUPOS SNK
LA REFORMA	53.45	A
NUEVO PROGRESO	39.33	B
SAN RAFAEL PDLIC	33.32	C
EL QUETZAL	22.71	D
SAN JOSE EL RODEO	17.28	E
MALACATAN	16.71	F
EL TUMBADOR	15.50	G

TABLA 8

Test Student-Newman-Keuls para la variable K en ug/ml
Efecto MUNICIPIO

MUNICIPIO	MEDIA	GRUPOS SNK
LA REFORMA	145.44	A
SAN JOSE EL RODEO	141.59	B
MALACATAN	91.24	C
EL QUETZAL	85.51	D
SAN RAFAEL PDLIC	76.19	E
NUEVO PROGRESO	55.50	F
EL TUMBADOR	44.32	G

TABLA 9

Test Student-Newman-Keuls para la variable Ca en meq/100 ml
Efecto MUNICIPIO

MUNICIPIO	MEDIA	GRUPOS SNK
LA REFORMA	4.07	A
MALACATAN	3.15	B
NUEVO PROGRESO	3.01	C
SAN RAFAEL PDLG	2.72	D
SAN JOSE EL RODEO	2.63	E
EL TUMBADOR	2.23	F
EL QUETZAL	1.91	G

TABLA 10

Test Student-Newman-Keuls para la variable Mg en meq/100 ml
Efecto MUNICIPIO

MUNICIPIO	MEDIA	GRUPOS SNK
LA REFORMA	1.46	A
NUEVO PROGRESO	1.16	B
MALACATAN	1.09	C
SAN JOSE EL RODEO	0.79	D
SAN RAFAEL PDLG	0.54	E
EL QUETZAL	0.54	E
EL TUMBADOR	0.45	F

9. DISCUSION DE RESULTADOS

9.1 Efecto MUNICIPIO*PERIODO

9.1.1 El análisis de varianza con un α del 99% y con $(Pr > F) >$ de 0.05 (0.2122), mostró que no hay diferencia con respecto al tiempo en el área cafetalera del municipio de San Marcos, en cuanto al pH, así como en la concentración de fósforo ($Pr > F = 1.0000$), potasio ($Pr > F = 1.0000$), calcio ($Pr > F = 0.9804$) y magnesio ($Pr > F = 0.9687$).

9.2 Efecto MUNICIPIO

9.2.1 El análisis de varianza con un α del 99% y con $(Pr > F) <$ de 0.05 (0.0001), mostró que hay diferencia significativa entre municipios con respecto al pH. Esto puede deberse a que el material madre de los suelos de cada uno es diferente, lo cual le da características específicas a cada suelo. Luego el test SNK muestra que con respecto al pH, El Tumbador y San José El Rodeo son estadísticamente iguales lo cual refleja que puede haber similitud en las características del suelo. Como se puede observar en los cuadros 5 y 9 de anexos, estos municipios pertenecen a una misma serie de suelos denominada Suchitepéquez (Sx). De forma similar, el test SNK indica que los municipios de Nuevo Progreso y Malacatán son estadísticamente iguales, lo cual también es probable que se deba a que pertenecen a una misma serie de suelos llamada Chocollá (Cho) (ver anexos cuadros 5 y 7). Por otro lado, el pH permaneció en un rango de 5.97 (La Reforma) a 5.34 (El Quetzal). San Rafael Pie de la Cuesta (5.43) y El Quetzal (5.34), los únicos municipios que se salen del rango aceptable para el cultivo de café (5.50 - 6.50). Esto podría ser el resultado de una pérdida de bases por lixiviación ya que en esos municipios la precipitación pluvial puede llegar a ser de más de 4000 mm.

9.2.2 Con respecto al fósforo (P), el análisis de varianza con un α del 99% y con $(Pr > F) <$ de 0.05 (0.0001), mostró que hay diferencia significativa entre municipios. Además se observa que la

concentración de este elemento, en todos los municipios estudiados se encuentra por encima del valor máximo del rango adecuado, es decir, 15 $\mu\text{g/ml}$. Esto puede deberse a varias razones, una de las cuales puede ser que los suelos donde se cultiva café, son generalmente ricos en materia orgánica, debido a que los árboles de sombra que se utilizan, además de las propias plantas de café, producen el material orgánico que se denomina hojarasca. Estos materiales orgánicos forman el complejo fosfohúmico el cual puede ser asimilado por la planta aumentando así su concentración en el suelo. Aritméticamente La Reforma presenta el valor más alto (53.45 $\mu\text{g/ml}$) y El Tumbador el valor más bajo (15.50 $\mu\text{g/ml}$).

9.2.3 El análisis de varianza con un α del 99% y con $(Pr > F) <$ de 0.05 (0.0001), mostró que hay diferencia significativa entre municipios con respecto a la concentración de potasio. La Reforma (145.45 Ug/ml) y San José El Rodeo (141.59 Ug/ml), se encuentran dentro del rango aceptable (ver anexos cuadro 3). Los otros municipios muestran medias muy por debajo del mínimo aceptable. En este caso puede existir pérdida del elemento causada probablemente por erosión del suelo o por lixiviación ya que la forma disponible de éste es como un ion (K^+), soluble y fácilmente lixiviable. Aritméticamente La Reforma presenta el valor más alto (145.45 $\mu\text{g/ml}$) y El Tumbador el valor más bajo (44.32 $\mu\text{g/ml}$).

9.2.4 El análisis de varianza con un α del 99% y con $(Pr > F) <$ de 0.05 (0.0001), mostró que hay diferencia significativa entre municipios con respecto a la concentración de calcio y magnesio. Se observa que en los municipios de La Reforma, Malacatán y Nuevo Progreso (ver tablas 9 y 10, pag 19), la concentración de ambos elementos, se encuentra dentro del rango aceptable para el cultivo del café (ver anexos cuadro 3), no así en el resto de municipios. En el primer caso, es posible que las fincas cafetaleras hayan seguido un programa de fertilización con fuentes de calcio y/o magnesio como carbonatos (cales), que mantuvo dentro del rango aceptable las concentraciones. La deficiencia de estos elementos

en los otros municipios puede deberse a una diferencia en el manejo en la conservación de suelos con respecto a los primeros. Aritméricamente La Reforma presenta el valor más alto (4.07 meq/100 ml) y El Quetzal el valor más bajo (1.91 meq/100 ml) en cuanto a concentración de calcio. Para la concentración de magnesio La Reforma presenta el valor más alto (1.46 meq/100 ml) y El Tumbador el valor más bajo (0.44 meq/100ml).

10. CONCLUSIONES

- 10.1 No existe variabilidad del pH, así como de la concentración de los elementos P, K, Ca y Mg en relación al tiempo, en el área cafetalera del municipio de San Marcos.
- 10.2 Existe diferencia significativa entre municipios, es decir que cada uno de los siete municipios estudiados posee características propias en cuanto a las concentraciones de los elementos utilizados como variable respuesta.
- 10.3 El pH se mantiene en un máximo de 5.97 y un mínimo 5.34, encontrándose que a excepción de San Rafael Pie de la Cuesta y El Quetzal, todos los municipios tienen un grado de acidez que se encuentra dentro del rango aceptable para el cultivo del café.
- 10.4 La concentración de fósforo en todos los municipios se encontró por encima del rango aceptable para el cultivo del café, con un máximo de 53 $\mu\text{g/ml}$ y un mínimo de 15.50 $\mu\text{g/ml}$.
- 10.5 A excepción de La Reforma y San José El Rodeo, todos los municipios estudiados presentan deficiencia de potasio en el suelo. Las concentraciones del elemento se mantienen en un máximo de 145.45 $\mu\text{g/ml}$ y un mínimo de 44.32 $\mu\text{g/ml}$.
- 10.6 Para el calcio y el magnesio se observa que solamente los suelos de los municipios de La Reforma, Malacatán y Nuevo Progreso tienen una concentración adecuada para el cultivo del café, el resto de los municipios presenta deficiencia de ambos elementos en el suelo. El rango de concentración que se encontró para calcio fue de 4.07 meq/100 ml a 1.91 meq/100 ml y para magnesio de 1.46 meq/100 ml a 0.44 meq/100 ml.
- 10.7 El municipio que presentó el mayor pH y las máximas concentraciones de los elementos P, K, Ca y Mg fue La Reforma y el municipio que presenta la mayor deficiencia en la mayoría de elementos (K, Ca y Mg) fue El Tumbador.

11. RECOMENDACIONES

- 11.1 Realizar el seguimiento al estudio para conocer el comportamiento de las variables respuesta durante los años siguientes y observar si este comportamiento se mantiene constante o si ha existido variación con respecto al tiempo.
- 11.2 Realizar estudios similares en otras áreas donde se cultiva café.
- 11.3 Ejecutar este tipo de estudio a regiones donde se siembran otros cultivos rentables para el país.

12. REFERENCIAS

1. **Jackson ML.** Análisis químico de suelos. Trad. José Beltrán Martínez. Barcelona: Ediciones Omega, 1964. 423 pp
2. **Cate RB, Nelson LA.** Un procedimiento estadístico para separar los datos de correlación de análisis de suelo en dos clases. Carolina del Norte: Estación Experimental Agrícola y AID, 1971. 11 pp
3. **Waugh DL, Cate RB.** Modelos discontinuos para una rápida correlación, interpretación y utilización de los datos de análisis de suelos y las respuestas a los fertilizantes. Carolina del Norte: Estación Experimental Agrícola y AID, 1973. 89 pp
4. **Hunter AH, Fitts JW.** Estudio de interpretación de análisis de suelos: ensayos de campo. Carolina del Norte: Estación Experimental Agrícola y AID, 1969. 120 pp
5. **Fitts JW, et al** Evaluación de la fertilidad del suelo en América Latina; Análisis de suelo y plantas. Carolina del Norte: Estación Experimental Agrícola y AID, 1973. 143 pp
6. **Valencia G.** Niveles Adecuados en Suelos y en Hojas de varios Cultivos. Colombia: CENICAFE, 1986. 20 pp
7. **Brolo JC.** Evaluación Preliminar del Contenido de P y K disponibles en los Suelos de Guatemala. Guatemala: USAC (Tesis de Graduación, Facultad de Agronomía), 1976. 47 pp
8. **Miyares RE.** Evaluación preliminar de los Suelos de Guatemala en cuanto a su Acidez y Alcalinidad. Guatemala: USAC (Tesis de Graduación, Facultad de Agronomía), 1977. 56 pp
9. **Del Valle.** Memoria del Seminario de Fertilización y Nutrición del Café. Guatemala: ANACAFE/USAID, 1992. 107 pp
10. **Simmons CS, Tarano JM, Pinto JH.** Clasificación de reconocimiento de los suelos de la republica de Guatemala. Guatemala: Instituto Agropecuario Nacional y Ministerio de Agronomía, 1959. 1000 pp
11. **Alvarado GD.** Caracterización de los Suelos del área Cafetalera de Guatemala. Memoria del Seminario de Fertilización y Nutrición del Café. Guatemala: ANACAFE/USAID, 1992. 107 pp
12. **Sumner ME, West L, Leal JE.** Reporte preliminar, caracterización de diferentes suelos en la región cafetalera de Guatemala. Georgia: Universidad de Georgia, 1991. 16 pp

13. **ANACAFE.** Manual de Técnicas de Laboratorio para Análisis de Suelos. Guatemala: 1992. 82 pp
14. **ANACAFE/INPOFOS.** Manual de Fertilidad de los Suelos. Guatemala: 1992. 85 pp
15. **Forth HD.** Fundamentos de la Ciencia del Suelo. México: CECSA, 1986. 433 pp
16. **Fassbender HW.** Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Costa Rica: CIDIA e Instituto Interamericano de Cooperación Agrícola IICA, 1984. XXVII + 422 pp
17. **Teuscher H, Adler R.** El suelo y su fertilidad . México: CECSA, 1987. 510 pp
18. **Molina M.** Agronomía y Agricultura. Guatemala: USAC, 1981. 412 p.
19. **Espinosa J.** Acidez y encalado de los Suelos. Memoria del Seminario de Fertilización y Nutrición del Café. Guatemala: ANACAFE/USAID, 1992. 107 pp
20. **Spiegler JE.** Glosario de Términos Usados en el Estudio de la Ciencia del Suelo. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 1984. 100 pp
21. **Malavolta E.** Reacción del Suelo y el Café. Memoria del Seminario de Fertilización y Nutrición del Café. Guatemala: ANACAFE/USAID, 1992. 107 pp
22. **Coronado RV.** Evaluación de la fertilidad en Suelos Franco arenosos de la región de Tiquizate. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala (Tesis de Graduación, Facultad de Ciencias y Humanidades), 1988. 98 pp
23. **Asociación Nacional del Café.** Manual de Caficultura. Guatemala: 1991. 117 pp
24. **Instituto Geográfico Nacional.** Atlas Nacional de Guatemala. Guatemala: 1972. 100 pp

13. ANEXOS

13.1 GLOSARIO

ACIDO Compuesto que contiene hidrógeno sustituible por elementos metálicos. Produce iones hidronio al disociarse en solución acuosa⁽¹⁴⁾.

BASE Compuesto que puede aceptar hidrógenos. Reacciona con los ácidos (reacción de neutralización) para formar sales y agua⁽¹⁴⁾.

CALCIO Las cantidades totales de calcio (Ca) en el suelo fluctúan desde menos de 0.1% hasta el 25%. Los suelos orgánicos recién drenados contienen por lo general muy poco calcio y además tienen valores de pH extremadamente bajos. Los suelos arcillosos por lo general contienen más Ca que los suelos arenosos⁽¹⁴⁾.

El calcio forma parte de la estructura de numerosos minerales del suelo. Los minerales del suelo, como la dolomita ($\text{CaCO}_3 \text{MgCO}_3$) o cal dolomítica⁽¹⁵⁾, la apatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Fe}_2$)^(14, 15) y feldespatos de calcio como la anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)⁽¹⁵⁾ constituyen las mayores fuentes de calcio para el suelo.

DACITAS Roca volcánica compuesta fundamentalmente por cuarzo y en menor proporción ortosa ($\text{Si}_3\text{O}_8\text{ALK}$), clorita, biotita ($\text{K}(\text{Mg})_3(\text{OH}, \text{Fe})_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}$) y hornablenda ($\text{Ca}_2(\text{Mg})_5(\text{OH})_2(\text{Al}, \text{Si})_8\text{O}_{22}$)⁽¹⁶⁾.

EROSION Depresión o rebajamiento producido en la superficie de un cuerpo por la fricción de otro. En el suelo se refiere a la pérdida de la capa superficial, aumentando la proporción del subsuelo en la capa arable.⁽¹⁴⁾

EROSION HIDRICA Erosión causada por el agua, ya sea en forma de lluvia con torrentes irregulares o encauzada en ríos o mares⁽¹⁴⁾.

EROSION EOLICA Erosión causada por el viento⁽¹⁴⁾.

FERTILIZACION Es el método o la práctica de aplicar fertilizantes, abonos orgánicos y/o enmiendas, utilizando un programa elaborado con base en la investigación o una larga experiencia, para la cual se hace necesario conocer previamente el estado de fertilidad del suelo y los requerimientos nutrimentales del cultivo en función de su edad, potencial de rendimiento y las prácticas de manejo que se utilizarán⁽¹⁷⁾.

FERTILIZANTES Son todas aquellas sustancias o materiales sólidos, líquidos, gaseosos o en suspensión, que contienen uno o más elementos esenciales para las plantas⁽¹⁵⁾, pudiendo contener así mismo otros agentes coadyuantes que permiten una mayor eficiencia en su absorción y aprovechamiento⁽¹⁸⁾. Los elementos están en tal forma balanceados y estructurados que pueden ser

absorbidos directamente por las arcillas, la materia orgánica o quedar en equilibrio en la solución del suelo para su aprovechamiento inmediato⁽¹⁹⁾.

FOSFORO El fósforo (P), es esencial para las plantas; éstas no pueden completar su ciclo productivo si dicho elemento falta y no puede ser sustituido por ningún otro⁽¹⁴⁾. La mayor parte del P de rocas ígneas y de los materiales maternos del suelo se presenta como apatita. El mineral de apatita más común es la fluoroapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Fe}_2$). Las plantas absorben la mayor parte del P que necesitan como ion ortofosfato primario (H_2PO_4^-), y en cantidades menores como ion ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}). Una parte de P puede formar compuestos con el calcio, hierro y aluminio provenientes de la apatita, fertilizantes, estiércol o materia orgánica. La mayoría de estos compuestos pueden ser utilizados por la planta debido a que son insolubles. Se dice que están en forma "invertida" o "fija"⁽¹⁴⁾.

FRIABLE Fácilmente pulverizable entre los dedos. Fácilmente laborable a una profundidad aproximada de 25 centímetros⁽²⁰⁾.

INTEMPERIZACION Es la serie de reacciones químicas que de forma natural se llevan a cabo para descomponer los feldespatos y constituirse en suelo⁽¹⁶⁾.

LIXIVIACION Separación de elementos solubles de los elementos insolubles. En un suelo pueden lixiviarse los nutrimentos solubles como Ca y Mg, por acción de la lluvia o de aguas de riego, los cuales son sustituidos por H^+ lo cual puede provocar un aumento en la acidez del suelo. De modo que los suelos formados bajo precipitaciones altas son más ácidos que aquellos formados bajo condiciones áridas^(14, 16).

MAGNESIO El magnesio (Mg), al igual que el Ca, son clasificados como elementos secundarios, lo cual no indica que su importancia sea menor. Ellos son tan importantes para la nutrición de las plantas como los nutrimentos principales, aunque las plantas normalmente los requieren en menores cantidades⁽¹⁴⁾. El Mg del suelo que no proviene de los fertilizantes o de material de encalado, probablemente se deriva de la intemperización de rocas⁽¹⁴⁾ que contienen minerales como la biotita ($\text{K}(\text{Mg})_3(\text{OH}, \text{Fe})_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}$) o la hornablenda ($\text{Ca}_2(\text{Mg})_5(\text{OH})_2(\text{Al}, \text{Si})_8\text{O}_{22}$)⁽¹⁶⁾. En general los suelos contienen menos Mg que Ca debido a que el Mg es más soluble y por lo tanto es más lixiviable. También los materiales madre del suelo contienen menos Mg que Ca⁽¹⁴⁾.

MATERIAL PIROCLASTICO Material fragmentado lanzado al aire en una erupción volcánica. Los materiales más grandes, al depositarse, originan las brechas volcánicas, mientras que las cenizas forman las cineritas o tobas volcánicas⁽¹⁶⁾.

METEORIZACION Desintegración y descomposición física y química de las rocas y minerales por factores externos. Las labores agrícolas al remover el terreno, ponen en contacto con la atmósfera, capas de tierra más profundas que de este modo sufren un intenso proceso de meteorización⁽²⁰⁾.

MINERAL Sustancia natural de composición química definida, con estructura cristalina que se puede presentar en formas geométricas más o menos regulares. Están formados por partículas elementales, átomos, iones o moléculas, con una ordenación sistemática que se repite indefinidamente⁽¹⁶⁾.

NIVEL CRITICO Es aquella concentración de un elemento, extraído del suelo, por encima de la cual existe una alta probabilidad de no obtener incrementos sensibles en la producción, mientras que los valores inferiores muy probablemente corresponderán a producciones pobres. Los niveles críticos de los macronutrientes utilizados actualmente para cafetales en producción se muestran en el Cuadro 3, inciso 13.2 de Anexos.⁽¹⁴⁾.

NITROGENO El nitrógeno (N), es esencial para el crecimiento de las plantas. Forma parte de todas las células vivientes. Las plantas absorben la mayor parte del N en la forma de iones amonio o de nitrato. La mayoría de los cultivos agronómicos absorben gran parte del N en la forma de nitrato. Cuando se lleva a cabo el proceso de nitrificación y el ion amonio pasa a nitrato, se generan iones hidrógeno lo cual es fuente de acidez del suelo, cuando no hay una buena absorción del ion amonio por las plantas^(14, 17).

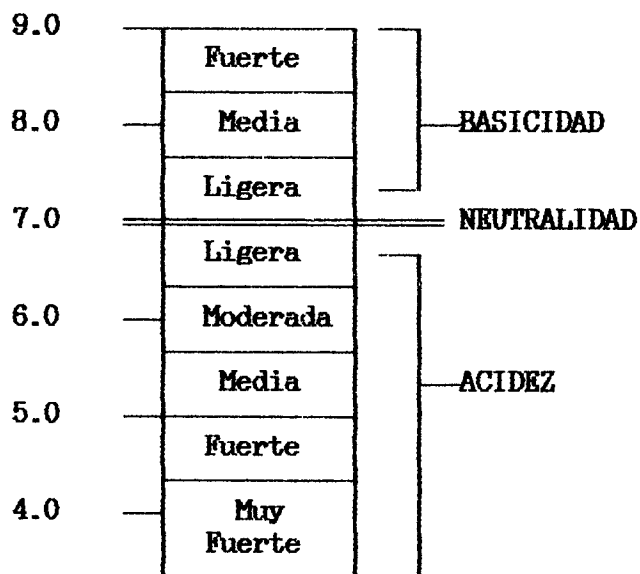
pH DEL SUELO

El pH del suelo se define como el inverso del logaritmo de la concentración de iones hidrógeno en moles por litro, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{pH} = \log \frac{1}{(\text{H}^+)}$$

El término pH define la acidez y basicidad relativas de una sustancia. La escala de pH, en solución acuosa, cubre valores desde cero hasta 14. Un valor de pH de 7.0 es neutro. Los valores inferiores a 7.0 son ácidos y los valores superiores a 7.0 son básicos. La mayoría de los suelos productivos tienen

niveles de pH que oscilan entre 4.0 y 9.0. Los grados de acidez y basicidad se muestran en la siguiente figura⁽¹⁴⁾:



El valor práctico de la expresión logarítmica de los valores del pH es que a cada unidad de cambio en pH en el suelo corresponde un incremento de 10 veces en la cantidad de acidez o basicidad del suelo. En otras palabras, un suelo con pH 5.0 tiene 10 veces más H⁺ activo que un suelo con pH 6.0. Esto tiene un importante significado en la nutrición de los cultivos y en el manejo efectivo de los fertilizantes. En el cuadro 1 se presenta el grado de acidez o basicidad comparado con el pH neutro (7.0)⁽¹⁹⁾. El pH óptimo para que una planta se desarrolle normalmente varía para cada cultivo, pero para la mayoría de ellos, el rango adecuado está entre 6.0 y 6.5⁽²⁰⁾. Para el café, el rango de variación normal se estableció entre 5.5- 6.5 porque en esos límites existe una buena disponibilidad de nutrimentos en suelos orgánicos y minerales. Además, es el rango de mejor adaptabilidad genética del cafeto⁽¹⁴⁾.

POTASIO Al igual que el nitrógeno y el fósforo, el potasio (K) es un nutrimento vital para las plantas. Los cultivos agronómicos contienen más o

menos la misma cantidad de K que de N, pero mucho más de K que de P. En muchos cultivos de alto rendimiento el contenido de K excede al del N⁽¹⁴⁾. El K es absorbido del suelo por las plantas en su forma iónica (K⁺), pero aunque la mayoría de suelos contienen miles de kilos de potasio, es muy probable que solo un 2% está disponible para las plantas en el estadio de crecimiento^(15, 18). Este K disponible está constituido por el que se encuentra en la solución del suelo y el que se encuentra retenido en forma intercambiable de las arcillas y materia orgánica⁽¹⁴⁾.

RIOLITAS Familia de rocas holocristalinas de grano fino y composición mineralógica muy parecida a los granitos. Su color es muy variado, de negras compactas a verdosas⁽¹⁶⁾.

ROCA Masa pétreo geológicamente independiente, de composición química y mineralógica constante, dentro de ciertos límites. Las rocas no son entes estables, sino que están en continua transformación. Su superficie, bajo la acción de agentes erosivos, es continuamente degradada⁽¹⁶⁾.

SERIE DE SUELOS Es un grupo de suelos similar en todo respecto, excepto en la textura del horizonte superficial. Las características tomadas en consideración para agrupar suelos en una serie son color, textura y estructura, espesor de los horizontes, tipo de material madre y drenaje⁽¹⁰⁾.

SUELO Materia mineral no consolidada de la superficie terrestre que ha estado expuesta y ha sido afectada por factores genéticos y ambientales de material materno, clima^(15, 16) (incluyendo temperatura y humedad), macro y micro organismos y topografía, actuando todos ellos durante un determinado tiempo y conduciendo a la formación de un producto, el suelo, que difiere del material que se derivó en muchas propiedades físicas, químicas y biológicas^(15, 18).

SUELO FERTIL Es aquel suelo que tiene la capacidad de proporcionar las cantidades adecuadas de nutrimentos a un cultivo⁽²¹⁾, en tal forma que puedan ser absorbidos fácilmente, para lo cual dichos nutrimentos deben encontrarse en equilibrio con las propiedades químicas y características físicas de ese sustrato^(14, 15) y aprovechar en un alto porcentaje los elementos nutrimentales que le son agregados al suelo al fertilizar. La fertilidad del suelo depende en gran parte del tipo y contenido de arcilla, materia orgánica, textura y estructura⁽²²⁾.

SUELO PRODUCTIVO Es aquel que debe tener una capacidad adecuada de retención de agua, buena aireación, buena cantidad de materia orgánica en proceso de descomposición, la presencia de nutrimentos en cantidades adecuadas y alta capacidad de intercambio catiónico, entre otras propiedades⁽¹³⁾.

13.2 CUADROS

CUADRO 1
pH del suelo y el grado de acidez o
basicidad

pH del suelo	Acidez/Basicidad comparadas con pH 7.0
9.0	100
8.0	10
7.0	Neutro
6.0	10
5.0	100
4.0	1000

CUADRO 2

Símbolos químicos y formas iónicas comunes de los elementos esenciales absorbidos de los suelos por las raíces de las plantas.

Nutriente	Símbolo químico	Formas iónicas absorbidas por las plantas
Macronutrientes		
Nitrógeno	N	NO_3^- , NH_4^+
Fósforo	P	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}
Potasio	K	K^+
Calcio	Ca	Ca^{2+}
Magnesio	Mg	Mg^{2+}
Azufre	S	SO_4^{2-}
Micronutrientes		
Manganeso	Mn	Mn^{2+}
Hierro	Fe	Fe^{2+}
Boro	B	BO_3^{3-}
Cinc	Zn	Zn^{2+}
Cobre	Cu	Cu^{2+}
Molibdeno	Mo	MoO_4^{2-}
Cloro	Cl	Cl^-

CUADRO 3

Niveles críticos de concentración de nutrimentos para cultivo del café

Nutrimento	Niveles Críticos
P ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	10 - 15
K ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	130 - 160
Ca (meq/100ml)	3 - 6
Mg (meq/100ml)	0.80 - 1.70

CUADRO 4

UBICACION GEOGRAFICA

Municipios del área cafetalera del departamento de San Marcos

MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD metros/nivel del mar
Malacatán	14°54'30"	92°03'45"	390
Nuevo Progreso	14°47'25"	91°55'10"	660
San José El Rodeo	14°54'50"	91°58'35"	700
El Tumbador	14°51'45"	91°56'05"	920
El Quetzal	14°46'05"	91°49'05"	940
San Rafael Pie de la Cuesta	14°55'50"	91°54'50"	1039
La Reforma	14°47'55"	91°49'10"	1140

CUADRO 5

Suelos y clases de terreno del área cafetalera del departamento de San Marcos

SIMBOLO	SERIE DE SUELOS	MUNICIPIO
Cho	Chocolá	Malacatán Nuevo Progreso
Chv	Chuvá	La Reforma El Quetzal
Re	Retalhuleu	Malacatán
SA	Suelos Aluviales no diferenciados	Malacatán
Sx	Suchitepéquez	El Tumbador San Rafael Pie de la Cuesta Nuevo Progreso San José El Rodeo

CUADRO 6

Características del Suelo del área cafetalera de San Marcos

MUNICIPIO:	La Reforma El Quetzal	SERIE DE SUELOS: Chuvá (Chv)
Material Madre	ceniza volcánica suelta principalmente pomácea	
Relieve	inclinado a escarpado	
Drenaje Interno	muy rápido	
Suelo Superficial		
Color	gris oscuro	
Consistencia	suelta	
Textura	arena franca	
Espesor Aproximado	15 cm	
Subsuelo		
Color	indefinido*	
Consistencia	indefinido*	
Textura	indefinido*	
Espesor Aproximado	indefinido*	
Características que influyen su uso		
Relieve dominante	15-20%	
Drenaje del suelo	muy rápido	
Capacidad de abastecimiento de humedad	muy bajo	
Capacidad que limita la penetración de raíces	ninguno	
Peligro de erosión	muy alta	
Fertilidad natural	baja	
Problemas de manejo	combate de la erosión	

* No es posible realizar esta clasificación ya que es ceniza volcánica suelta que no ha empezado proceso de meteorización

CUADRO 7**Características del Suelo del área cafetalera de San Marcos**

MUNICIPIO:	Malacatán	SERIE DE SUELOS: Chocolá (Cho)
	Nvo. Progreso	
Material Madre	ceniza volcánica micácea de grano fino y de color claro	
Relieve	suavemente inclinado	
Drenaje Interno	bueno	
Suelo Superficial		
Color	pardo oscuro	
Consistencia	friable	
Textura	franco-arcillo-limoso	
Espesor Aproximado	50 cm	
Subsuelo		
Color	pardo a pardo amarillento	
Consistencia	friable	
Textura	franco-arcilloso a micácea	
Espesor Aproximado	75-100 cm	
Características que influyen su uso		
Relieve dominante	3-6%	
Drenaje del suelo	moderado	
Capacidad de abastecimiento de humedad	alta	
Capacidad que limita la penetración de raíces	ninguna	
Peligro de erosión	regular	
Fertilidad natural	alta	
Problemas de manejo	combate de erosión	

CUADRO 8

Características del Suelo del área cafetalera de San Marcos

MUNICIPIO:	Malacatán	SERIE DE SUELOS: Retalhuleu (Re)
Material Madre	ceniza volcánica intemperizada	
Relieve	suavemente inclinado	
Drenaje Interno	bueno	
Suelo Superficial		
Color	pardo oscuro	
Consistencia	friable	
Textura	franco-arcillo-limoso	
Espesor Aproximado	25 cm	
Subsuelo		
Color	pardo a pardo rojizo	
Consistencia	friable	
Textura	arcilloso	
Espesor Aproximado	1-2 m	
Características que influyen su uso		
Relieve dominante	2-5%	
Drenaje del suelo	moderado	
Capacidad de abastecimiento de humedad	alta	
Capacidad que limita la penetración de raíces	ninguna	
Peligro de erosión	ligera	
Fertilidad natural	baja	
Problemas de manejo	mantenimiento de fertilidad	

CUADRO 9

Características del Suelo del área cafetalera de San Marcos

MUNICIPIO:	El Tumbador Nvo. Progreso San José El Rodeo San Rafael Pie de la Cuesta	SERIE DE SUELOS: Suchitepéquez (Sx)
Material Madre	Ceniza volcánica	
Relieve	suavemente inclinado a inclinado	
Drenaje Interno	bueno	
Suelo Superficial		
Color	pardo muy oscuro	
Consistencia	friable	
Textura	franco arcilloso	
Espesor Aproximado	60 cm	
Subsuelo		
Color	pardo amarillento	
Consistencia	friable	
Textura	franco-arcillo-limoso	
Espesor Aproximado	100-200 cm	
Características que influyen en su uso		
Relieve dominante	4-8%	
Drenaje del suelo	rápido	
Capacidad de abastecimiento de humedad		muy alta
Capacidad que limita la penetración de raíces		ninguna
Peligro de erosión	muy baja	
Fertilidad natural	alta	
Problemas de manejo	combate de erosión	

CUADRO 10

Características del Suelo del área cafetalera de San Marcos

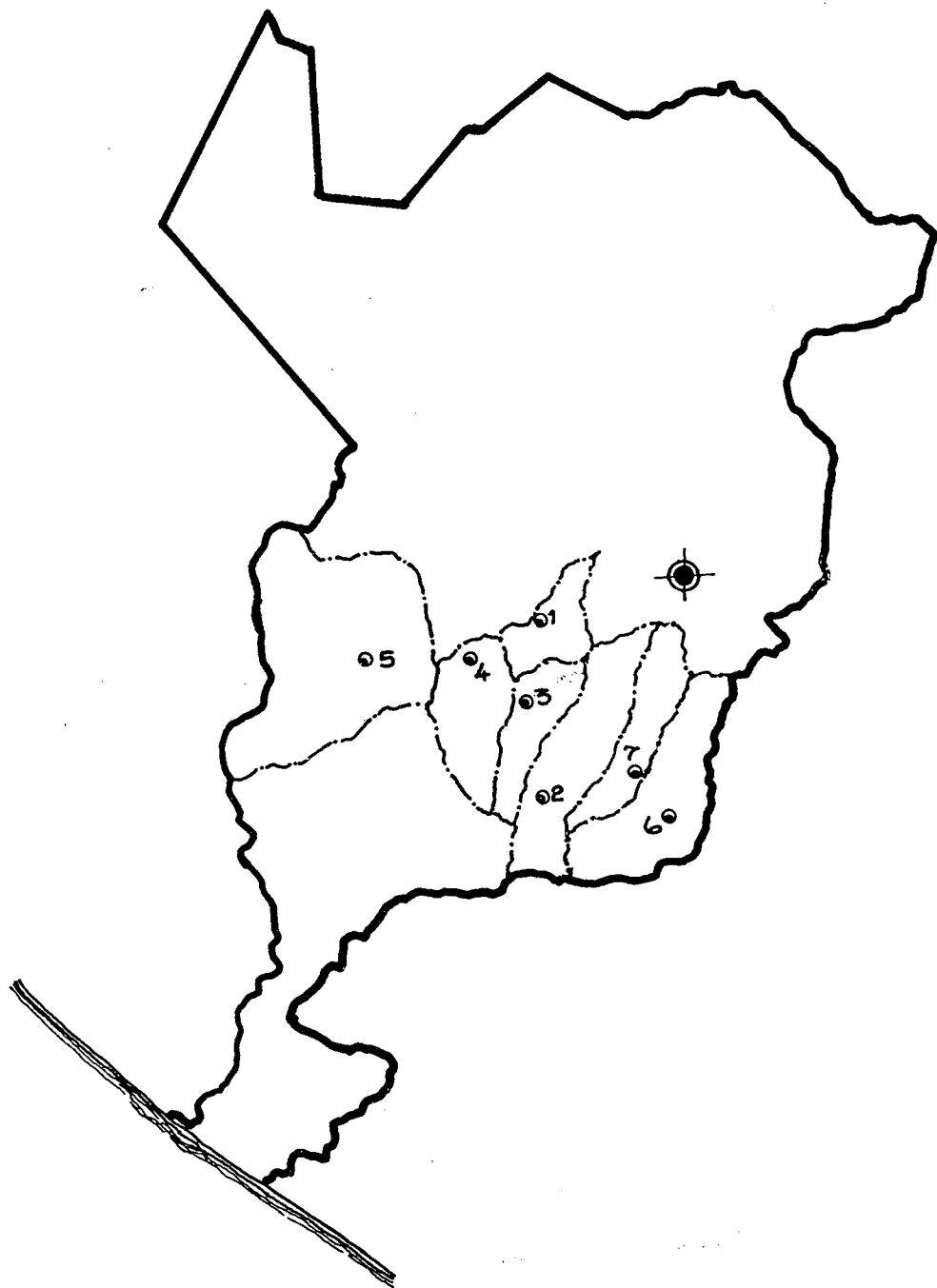
MUNICIPIO:	Malacatán	SERIE DE SUELOS: Suelos aluviales no diferenciados (SA)
<p>Los Suelos Aluviales no diferenciados, son una clase de terreno de características muy diferentes. Son una mezcla de tendencias y no es posible separarlas en un mapa de suelos. Están distribuidos ampliamente en toda la república de Guatemala.</p>		

CUADRO 11

Promedio por año de las variables respuesta.

MUNICIPIOS	AÑOS	pH	P	K	Ca	Mg
			µg/ml	µg/ml	meq/100 ml	meq/100 ml
EL QUETZAL	88/89	5.19	25.26	87.66	1.93	0.46
	89/90	5.27	24.62	86.41	1.92	0.48
	90/91	5.31	22.84	87.51	1.85	0.49
	91/92	5.47	21.57	83.88	1.98	0.63
	92/93	5.48	19.29	82.10	1.88	0.63
SN JOSE EL RODEO	88/89	5.80	16.86	145.69	3.08	1.10
	89/90	6.13	18.52	142.37	3.16	1.05
	90/91	5.74	17.37	141.35	2.60	0.65
	91/92	5.72	16.69	140.43	2.20	0.61
	92/93	5.71	16.94	138.13	2.08	0.55
EL TUMBADOR	88/89	5.88	15.66	46.26	2.24	0.43
	89/90	5.90	15.29	44.75	2.15	0.43
	90/91	5.87	14.88	45.35	2.14	0.46
	91/92	5.75	15.63	43.34	2.35	0.45
	92/93	5.76	16.02	41.91	2.24	0.46
LA REFORMA	88/89	5.95	52.94	153.67	4.45	1.66
	89/90	5.98	53.97	152.42	4.16	1.50
	90/91	5.97	53.69	144.68	3.99	1.45
	91/92	5.95	53.13	140.10	3.95	1.39
	92/93	6.01	53.51	136.36	3.81	1.31
MALACATAN	88/89	5.73	17.42	93.78	3.16	1.13
	89/90	5.63	15.63	91.27	3.18	1.13
	90/91	5.49	17.29	90.07	2.21	1.18
	91/92	5.52	16.94	89.66	3.08	1.05
	92/93	5.67	16.25	91.41	3.14	0.94
NUEVO PROGRESO	88/89	5.65	38.04	56.86	3.05	1.16
	89/90	5.69	40.65	56.78	2.96	1.16
	90/91	5.65	40.20	55.44	3.03	1.16
	91/92	5.56	39.88	54.67	3.01	1.16
	92/93	5.51	37.85	53.78	3.01	1.16
SN RAFAEL PIE DE LA CUESTA	88/89	5.56	33.04	75.22	2.48	0.50
	89/90	5.36	33.22	78.89	2.53	0.55
	90/91	5.30	34.39	76.48	2.64	0.53
	91/92	5.59	31.89	74.92	2.98	0.55
	92/93	5.33	34.10	75.43	2.96	0.56

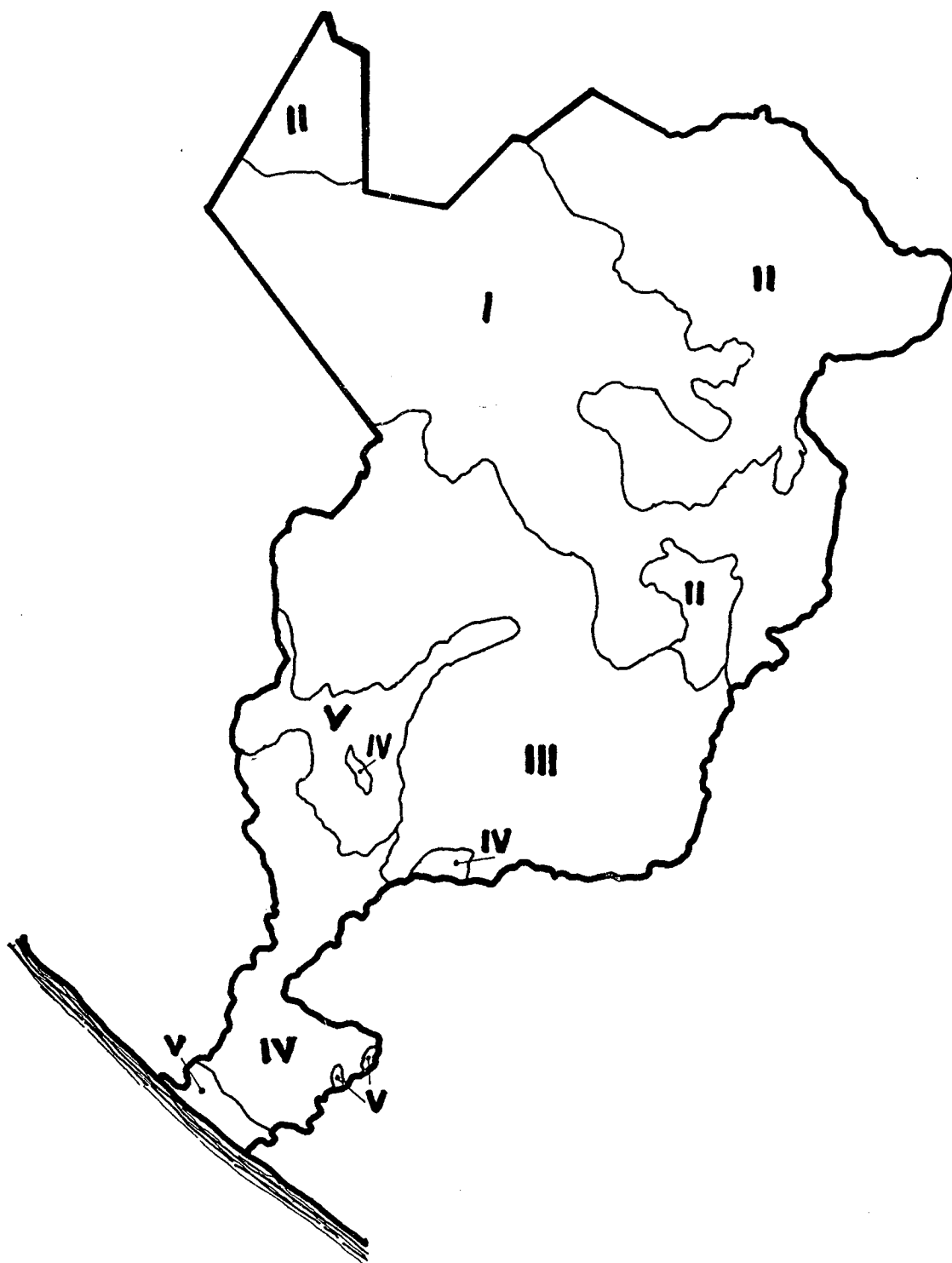
13.3 MAPAS



MAPA No. 1
Municipios del área cafetalera del departamento
de San Marcos

13.3.1 Municipios del área cafetalera del departamento de San Marcos

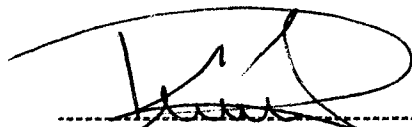
1. San Rafael Pie de la Cuesta
2. Nuevo Progreso
3. El Tumbador
4. San José El Rodeo
5. Malacatán
6. El Quetzal
7. La Reforma



MAPA No. 2
División fisiográfica del departamento de
San Marcos

13.3.2 División fisiográfica del departamento de San Marcos

- I. Suelos de las Montañas Volcánicas
- II. Suelos de la Altiplanicie Central
- III. Suelos del Declive del Pacífico
- IV. Suelos del Litoral del Pacífico



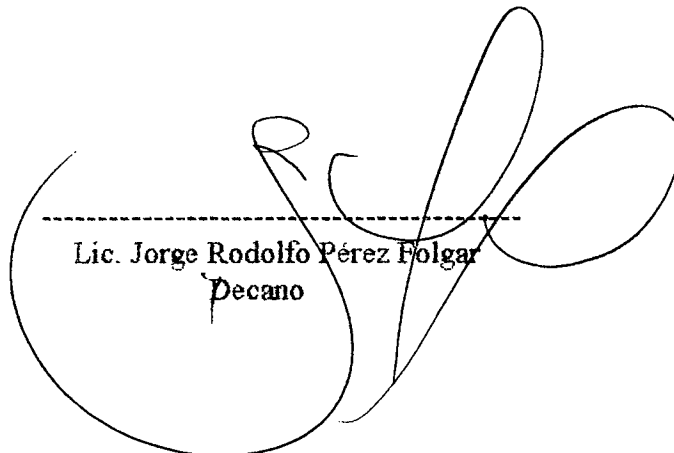
Sandra Roxana Calderón Barillas
Ejecutor del Trabajo de Tesis



Ing. Humberto Jiménez García
Asesor del Trabajo de Tesis



Lic. Miguel Ángel Herrera Gálvez
Director de Escuela de Química



Lic. Jorge Rodolfo Pérez Folgar
Decano