



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

EVALUACIÓN DE VARIABLES DE FERTILIDAD DEL
SUELO Y DE LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIMENTOS
FOLIARES EN HUERTAS DE MANGO DEL MUNICIPIO LA
UNIÓN, GUERRERO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:
BIÓLOGO

P R E S E N T A :
ARTURO ARMANDO AGUILAR PÉREZ



TUTORA DE TESIS: DRA. SILKE CRAM
HEYDRICH

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno

Aguilar
Pérez
Arturo Armando
55 16 49 48 37
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
302254033

2. Datos del tutor

Dra.
Silke
Cram
Heydrich

3. Datos del sinodal 1

Dra.
María Guadalupe
Barajas
Guzmán

4. Datos del sinodal 2

M. en C.
María del Pilar
Fernández
Lomelín

5. Datos del sinodal 3

M. en C.
María del Socorro
Galicia
Palacios

6. Datos del sinodal 4

Biól.
Claudia
Vallejo
Albarrán

7. Datos del trabajo escrito

Evaluación de variables de fertilidad del suelo y de la concentración de nutrimentos foliares en huertas de mango del municipio La Unión, Guerrero.
98 p
2012

Agradecimientos

A mis padres, hermanos y seres queridos por el apoyo brindado.

Gracias a la UNAM, en especial a la Facultad de Ciencias, por todas las experiencias y conocimientos que obtuve en sus instalaciones.

Mi más sincero agradecimiento a la Dra. Silke Cram Heydrich por la confianza y el apoyo brindado desde el primer día; agradezco su amabilidad, tolerancia, paciencia y sobre todo, agradezco sus correcciones y observaciones a lo largo del desarrollo de la tesis.

Quiero agradecer a la M. en C. María del Pilar Fernández Lomelín por su ayuda logística, en la realización de métodos, en la revisión de resultados y por las correcciones del escrito; además, agradezco su amabilidad y bondad en todo momento.

Gracias a la M. en C. Irene Marie Sommer Cervantes por toda la ayuda otorgada, principalmente por su pensamiento crítico en el desarrollo de la tesis, así como por la ayuda estadística y las correcciones al escrito.

Agradezco a la Dra. Silke Cram Heydrich, la M. en C. María del Pilar Fernández Lomelín y a la M. en C. Irene Marie Sommer Cervantes, todas me brindaron su apoyo, buen humor y conocimientos, aprendí de cada una de ellas y de manera conjunta. Mil gracias por todo.

A la Dra. María Guadalupe Barajas Guzmán por las correcciones y comentarios a mi tesis, gracias por los conocimientos otorgados en Ecología, en el Taller “Ecología de la biota del suelo: su papel en la dinámica, funcionamiento y restauración de los ecosistemas” y sobre todo gracias por su apoyo y amabilidad que me ayudaron a seguir adelante.

A la Biól. Claudia Vallejo Albarrán por las correcciones y comentarios a mi tesis, así como por los conocimientos brindados en la optativa Edafología.

A la M. en C. María del Socorro Galicia Palacios por la revisión del escrito y las correcciones planteadas.

Agradezco el apoyo de todo el personal del Laboratorio de Edafología Ambiental del Instituto de Geología, especialmente a la Dra. Lucy Mora Palomino y la M. en C. Kumiko Shimada Miyasaka por la ayuda recibida al realizar los análisis edáficos.

Al personal de la Unidad de Análisis Ambiental de la Facultad de Ciencias, especialmente al M. en C. Manuel Hernández Quiroz por su ayuda en la determinación de micronutrientes edáficos y digestiones foliares.

A la Quím. María Patricia Girón García del Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X del Instituto de Geología por la cuantificación de nutrientes foliares en sus instalaciones.

Al personal del Laboratorio de Físicoquímica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por la cuantificación de nutrientes foliares en sus instalaciones.

Gracias a la Pas. de Biól. Karla Ballesteros y al Biól. Cristóbal Carrión por su amistad, apoyo en las colectas en campo y ayuda en laboratorio; gracias a la Biól. Flor Navarrete por su ayuda en laboratorio, a la Lic. Mayelli Hernández por la generación de mapas para el muestreo en campo y al M. en C. Víctor Duarte por su ayuda en el muestreo en campo.

A todos los amigos, compañeros, profesores e investigadores que han contribuido a mi formación académica; así como a cualquiera que le sea útil la información aquí planteada.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
I INTRODUCCIÓN.....	2
II OBJETIVOS.....	4
III ANTECEDENTES.....	5
3.1 FERTILIDAD DEL SUELO.....	5
3.1.1 <i>Textura</i>	6
3.1.2 <i>Estructura y porosidad</i>	7
3.1.3 <i>Densidad</i>	8
3.1.4 <i>Capacidad de intercambio iónico</i>	8
3.1.5 <i>pH</i>	10
3.1.6 <i>Conductividad eléctrica</i>	11
3.1.7 <i>Materia orgánica</i>	12
3.1.8 <i>Color</i>	13
3.1.9 <i>Microorganismos</i>	14
3.2 NUTRICIÓN VEGETAL.....	14
3.2.1 <i>Disponibilidad y absorción</i>	15
3.2.2 <i>Macronutrientes</i>	17
3.2.3 <i>Micronutrientes</i>	21
3.3 GENERALIDADES DE MANGIFERA INDICA.....	25
3.3.1 <i>Descripción botánica</i>	25
3.3.2 <i>Condiciones edafoclimáticas y fenología</i>	27
3.3.3 <i>Nutrientes esenciales</i>	28
3.3.4 <i>Estudios de fertilidad y de análisis foliar en M. indica</i>	29
IV ZONA DE ESTUDIO.....	31
4.1 UBICACIÓN.....	31
4.2 FISIOGRAFÍA.....	32
4.3 HIDROLOGÍA.....	32
4.4 CLIMA.....	33
4.5 EDAFOLOGÍA.....	34
4.6 VEGETACIÓN.....	35
V MÉTODOS.....	36
5.1 TRABAJO DE CAMPO.....	36
5.1.1 <i>Suelos</i>	36
5.1.2 <i>Hojas</i>	37
5.2 TRABAJO DE LABORATORIO.....	37
5.2.1 <i>Suelos</i>	37
5.2.2 <i>Hojas</i>	39
5.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	40

VI RESULTADOS.....	41
6.1 ESTADO DE FERTILIDAD DE CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS Y COMPARACIÓN ENTRE LOCALIDADES	41
6.2 CONCENTRACIONES DE NUTRIMENTOS DISPONIBLES EN SUELO Y COMPARACIÓN ENTRE LOCALIDADES.	46
6.3 CONCENTRACIONES DE NUTRIMENTOS FOLIARES EN DOS TIEMPOS DE MUESTREO.....	51
6.4 CONCENTRACIONES DE NUTRIMENTOS FOLIARES Y COMPARACIÓN ENTRE LOCALIDADES	52
6.5 CORRELACIONES LINEALES ENTRE CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.....	57
6.6 CORRELACIONES LINEALES ENTRE CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS Y NUTRIMENTOS DEL SUELO.....	58
6.7 CORRELACIONES LINEALES ENTRE NUTRIMENTOS DEL SUELO	60
6.8 CORRELACIONES LINEALES ENTRE NUTRIMENTOS EN SUELO Y EN HOJAS.....	62
VII DISCUSIÓN	63
7.1 ESTADO DE FERTILIDAD DE CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS Y COMPARACIÓN ENTRE LOCALIDADES	63
7.2 CONCENTRACIONES DE NUTRIMENTOS DISPONIBLES EN SUELO Y COMPARACIÓN ENTRE LOCALIDADES.	65
7.3 CONCENTRACIONES DE NUTRIMENTOS FOLIARES EN DOS TIEMPOS DE MUESTREO.....	67
7.4 CONCENTRACIONES DE NUTRIMENTOS FOLIARES Y COMPARACIÓN ENTRE LOCALIDADES	68
7.5 CORRELACIONES LINEALES ENTRE CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.....	69
7.6 CORRELACIONES LINEALES ENTRE CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS Y NUTRIMENTOS DEL SUELO.....	69
7.7 CORRELACIONES LINEALES ENTRE NUTRIMENTOS DEL SUELO	70
7.8 CORRELACIONES LINEALES ENTRE NUTRIMENTOS EN SUELO Y EN HOJAS.....	71
VIII CONCLUSIONES.....	72
IX LITERATURA CITADA	73
ANEXOS	79
ANEXO 1	79
a) <i>Métodos utilizados para los análisis edáficos.....</i>	79
b) <i>Métodos utilizados para los análisis foliares.....</i>	82
ANEXO 2	84
a) <i>Condiciones establecidas para características edáficas y nutrimentos disponibles en suelo de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000.....</i>	84
b) <i>ANOVAs y pruebas post-hoc Tukey para características del suelo.....</i>	85
c) <i>ANOVAs y pruebas post-hoc Tukey en nutrimentos disponibles en el suelo</i>	87
d) <i>Prueba U de Mann-Whitney entre muestreos en nutrimentos foliares.....</i>	89
e) <i>Intervalos adecuados de nutrimentos foliares.....</i>	89
f) <i>ANOVAs y pruebas post-hoc Tukey en nutrimentos foliares</i>	90
ANEXO 3.....	92
a) <i>Porcentajes de recuperación de nutrimentos edáficos y foliares.....</i>	92
b) <i>Valores obtenidos para cada muestra analizada a nivel foliar y edáfico.....</i>	93
c) <i>Resultados obtenidos en huertas de mango (2000/2009).....</i>	97

RESUMEN

El cultivo del mango en el municipio La Unión, Guerrero presenta dificultades en su producción y comercialización debido a la falta de programas integrales de manejo que otorguen una mayor sustentabilidad al cultivo. Como parte de estudios que ayuden a una mejor toma de decisiones en este municipio, en el presente trabajo se realizó una evaluación de características edáficas, concentraciones de nutrimentos disponibles del suelo, concentraciones foliares, así como las relaciones que pudieran presentar estas variables en las localidades San Francisco, Las Tamacuas, Joluta-El Atracadero y El Limón. Se obtuvieron estados de fertilidad edáficos adecuados a bajos para San Francisco, Las Tamacuas y Joluta-El Atracadero debido a porcentajes medios a bajos de materia orgánica, acidificación moderada y deficiencia de algunos macronutrimentos (N y P para todas las localidades, Mg y Ca para Joluta-El Atracadero); y estados de fertilidad edáficos bajos para El Limón por deficiencias de materia orgánica, acidez considerable del suelo y gran número de nutrimentos en niveles bajos (N, P, K, Ca, Mg y Zn). Los análisis foliares exhibieron niveles de adecuados a bajos para San Francisco y Las Tamacuas causados por deficiencias en algunos macro y micronutrimentos (P, Mg, Zn y Cu); y estados bajos para Joluta-El Atracadero y El Limón por mayores deficiencias en algunos macro y micronutrimentos (P, S, Mg, Zn y Cu) y niveles altos de Mn. De acuerdo a las correlaciones obtenidas, los estados de fertilidad y diferencias entre localidades parecen ser explicados en gran medida por la relación entre pH, materia orgánica y textura con respecto a las demás características edáficas y nutrimentos del suelo ya que cambian sus propiedades así como la disponibilidad de los elementos. Sin embargo, el análisis foliar corroboró otras interacciones en el suelo y al interior de la planta que condicionan las concentraciones foliares.

I INTRODUCCIÓN

La especie *Mangifera indica*, mejor conocida como mango, ha sido cultivada por los últimos 4 mil años en el sur y sudoeste de Asia; se desconoce su punto exacto de origen, pero se considera que probablemente es nativo de los bosques montañosos bajos del este de la India, Bangladesh y Myanmar; en lo que respecta a nuestro continente, el mango se introdujo en México y Brasil a finales del siglo XVII y desde entonces ha sido cultivado y naturalizado de tal manera que su distribución actualmente se puede considerar como pantropical con cultivos en más de cien países (Parrota, 1993).

De acuerdo a la última actualización de las estadísticas globales de producción (2010) y comercio (2009) de la FAO, México es el quinto productor a nivel mundial de mango por debajo de India, China, Tailandia y Pakistán; no obstante, se ubica como el segundo mejor exportador de mangos sólo por debajo de la India.

A nivel nacional, de acuerdo a las estadísticas del 2011 del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), órgano dependiente de la SAGARPA; el mango es considerado el cuarto mejor frutal en producción sólo por debajo de naranjas, plátanos y limones; así como el sexto respecto a su valor económico, por debajo de aguacates, limones, plátanos, nueces y naranjas. A nivel estatal, Guerrero genera la mayor producción (22% del total nacional) y el mayor valor económico (29% del total nacional).

El cultivo de mango parece ser exitoso y redituable para México y para el estado de Guerrero, en el caso concreto del municipio La Unión, éste genera el 13.6% de producción del estado con un valor económico del 13.2% (SIAP, 2011); sin embargo, en este municipio la producción de mango ha tenido múltiples problemas relacionados con plagas y enfermedades, impactos de industrias, así como falta de programas integrales de manejo del cultivo y de una comercialización efectiva que genere mayores ganancias y sustentabilidad del agroecosistema (PUMA, 2009).

En este sentido, se deben generar estudios que constituyan bases para crear programas integrales de manejo de los huertos de mango en la zona y de esta manera mejorar las condiciones de los productores y la del agroecosistema en cuestión. Como parte de estos estudios, resulta importante evaluar aspectos de fertilidad de los huertos que permitan tomar decisiones que contribuyan al buen manejo del cultivo.

Los estudios de fertilidad para el mango se hacen principalmente a través de un análisis foliar, ya que se considera a la hoja como un integrador altamente sensible de la disponibilidad de nutrimentos en el suelo y de otros factores de suministro. Las hojas reflejan las implicaciones de la interfase suelo-raíz, la translocación y las condiciones fisiológicas de la planta; por lo tanto, son consideradas el medio por el cual se observan las interacciones de muchas de las variables que influyen en su desarrollo (Samra y Arora, 1997).

A través del análisis foliar se establecen los niveles de nutrimentos por debajo o por encima de los cuales las plantas presentan síntomas de deficiencia o toxicidad, se definen los intervalos de valores nutrimentales asociados con el crecimiento o el rendimiento óptimo, lo que permite programar las prácticas de fertilización y manejo del cultivo, así como de otros factores que influyen en el buen desarrollo (Camacho, 1985).

No obstante, se considera que el análisis foliar debe complementarse con un estudio de fertilidad del suelo y con prácticas de manejo para obtener mejores resultados al evaluar las relaciones nutricionales. En la presente investigación se realizó un estudio que considera el análisis foliar, la fertilidad del suelo, y las relaciones de estas variables en diferentes localidades del municipio La Unión, Guerrero; este tipo de aportaciones puede constituir una base para que en un futuro se tomen decisiones de manera multidisciplinaria e integral para un mejor manejo del cultivo del mango en la zona y en México.

II OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar el estado de fertilidad de huertas de mango en cuatro localidades del municipio La Unión, Guerrero.

Objetivos particulares

1. Determinar características edáficas y concentraciones de nutrimentos disponibles en suelos de huertas de mango para establecer su estado de fertilidad conforme a la NOM-021-RECNAT-2000 y comparar estas variables entre las localidades San Francisco, Las Tamacuas, Joluta-El Atracadero y El Limón.
2. Evaluar a través de un análisis foliar el estado nutrimental de las hojas de mango y comparar dos tiempos de muestreo, así como las cuatro localidades analizadas.
3. Estimar correlaciones entre: a) características del suelo, b) características del suelo-nutrimentos del suelo, c) nutrimentos del suelo y d) nutrimentos en suelo-nutrimentos en hojas.

III ANTECEDENTES

3.1 Fertilidad del suelo

El suelo se define como un cuerpo natural, tridimensional, parte de un ecosistema, originado de la acción común de la roca parental, la topografía, el clima, los organismos, el tiempo y las actividades humanas (Porta *et al.*, 2003). Representa la parte superficial de la corteza terrestre, sirve de soporte y sustrato para plantas y microorganismos, es una matriz con fases sólidas, líquidas y gaseosas, presenta horizontes o capas que se distinguen del material parental como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía, (USDA, 1999).

Cada suelo resulta de la relación dinámica de los factores formadores, por lo tanto, existen distintos suelos en los que se desarrollan diversas plantas, ya sea de forma natural o cultivada. Para la mayoría de las plantas, el suelo es el lugar donde desarrollan sus raíces, con las que absorben el agua y los nutrimentos esenciales para su vida; y al mismo tiempo, el suelo sirve de anclaje para sostener la parte aérea con la que realizan la fotosíntesis. Por lo tanto, resulta importante para estos organismos tener un suelo fértil que les garantice un crecimiento y desarrollo óptimo.

En un sentido amplio, la fertilidad es la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del suelo que, junto con las modificaciones ambientales y antropogénicas, brinda a las plantas las mejores condiciones para su crecimiento y desarrollo (Sánchez *et al.*, 2003; Smithson *et al.*, 2008). Estas propiedades son dinámicas, varían en el tiempo y espacio de acuerdo a ciclos, periodicidades, evolución y a su interacción con otros factores.

Sin embargo, se hace referencia a la fertilidad a grandes rasgos como la cualidad del suelo para suministrar los nutrimentos adecuados, en las proporciones y balances convenientes para el mejor desarrollo y crecimiento de determinadas plantas cuando otros factores del suelo o del ambiente son favorables (Millar *et al.*, 1965).

No obstante, las definiciones de fertilidad resultan complejas por involucrar múltiples variables y respuestas; por lo tanto, su determinación se limita a las características importantes para cada suelo, las necesidades de la planta o cultivo y a las principales condiciones ambientales y antropogénicas involucradas. Incluso en definiciones de fertilidad desde la perspectiva de la producción de cultivos como las planteadas por Lal *et al.* (2004) se incluye la rentabilidad y la sustentabilidad de los agroecosistemas.

Entre las características comúnmente evaluadas para establecer la fertilidad se encuentran: estructura, estabilidad de agregados, porosidad, aireación, color, cantidad y calidad de agua, textura, densidad, pH, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, materia orgánica del suelo, nutrimentos disponibles, actividad de microorganismos, el cultivo, su manejo y explotación; así como su relación con factores ambientales como temperatura, luz solar, dióxido de carbono, oxígeno y precipitación (Sotelo, 1989; Tisdale *et al.*, 1993; Troeh y Thompson, 1993; Domínguez, 1997; Havlin *et al.*, 1999; Krishna, 2002; Charman y Murphy, 2007).

Por lo tanto, la fertilidad del suelo considera y analiza propiedades cuantitativas de este sistema y lo relaciona con variables ambientales y antropogénicas con las cuales interactúa. En este sentido, a continuación se describen las propiedades del suelo relacionadas a la fertilidad.

3.1.1 Textura

La textura es una de las características más importantes del suelo y determina de algún modo el grado de actividad físico-química del mismo. Representa la proporción relativa de las partículas minerales inferiores a 2 mm agrupadas por clases de tamaños tras la destrucción de los agregados; es decir, es la porción relativa de arenas, limos y arcillas (Brady y Weil, 2008).

Para separar las distintas fracciones de arcillas, limos y arenas, es necesario establecer previamente los límites entre cada una de ellas, pero depende de los objetivos se han propuesto y utilizado diversos valores numéricos. Las clasificaciones más comunes y prácticas son las adoptadas por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (ISSS, por sus siglas en inglés) y las del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA, por sus siglas en inglés) (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de partículas del suelo de acuerdo a USDA.

Clase de partículas	Diámetro (mm)	Características
Elementos gruesos	> 2	Lo constituyen bloques, cantos y gravas, las fuerzas de unión actúan difícilmente y las partículas se mantienen siempre separadas sin cohesión.
Arenas	2.0-0.05	Partículas fácilmente apreciables, formadas por minerales de sílice, con escasa superficie activa. Facilitan el paso del aire y el agua al formar espacios mayores entre las partículas.
Limos	0.05-0.002	Partículas muy finas con escasa actividad química. Su predominio confiere al suelo inestabilidad estructural, apelmazamiento y deficiente movimiento del agua.
Arcillas	< 0.002	Partículas con carga eléctrica superficial, superficie específica elevada y comportamiento coloidal.

(Recopilación de Domínguez, 1997; Porta *et al.*, 2003; Brady y Weil, 2008).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el suelo nunca está compuesto de una sola clase de partícula, están presentes al menos pequeñas cantidades de estas tres fracciones. Las combinaciones posibles en los porcentajes de arcillas, limos y arenas pueden agruparse en clases texturales; se plantea el hecho de que ciertas fracciones son más importantes que otras para determinar propiedades del suelo así como el comportamiento del agua y las plantas; de esta manera, la textura permite inferir características como: capacidad de retención de agua disponible para las plantas, facilidad para la circulación del agua, facilidad para el laboreo, riesgo de erosión hídrica o eólica,

capacidad para almacenar nutrimentos, capacidad para admitir aguas residuales y otros residuos líquidos, entre otras propiedades (Porta *et al.*, 2003; Brady y Weil, 2008).

3.1.2 Estructura y porosidad

La estructura representa el ordenamiento de las partículas de arenas, limos y arcillas en agregados, así como del espacio asociado al interior de los mismos. La formación de estos agregados es resultado de interacciones físico-químicas entre las arcillas y los grupos funcionales de la materia orgánica coloidal; la estructura puede definirse por la forma que adoptan los agregados, por su tamaño y por el grado de estabilidad de los mismos (Wild, 1973).

Los agregados presentan una estabilidad muy variable con respecto al tiempo ya que son vulnerables a fuerzas destructivas como la lluvia, el viento y la labranza, por lo cual se desintegran y se forman periódicamente (Wild, 1973; Hillel, 2004).

La importancia de la estructura respecto a la fertilidad radica en que modifica el balance tanto de agua como de aire, e indirectamente, en la disponibilidad de nutrimentos, la acción de microorganismos, el desarrollo de la raíz y la resistencia a la erosión (Siebe *et al.*, 1996).

Un componente importante de la estructura del suelo es el espacio que queda entre los agregados y entre las partículas conocido como porosidad. Esta cualidad se puede definir como el porcentaje de espacios vacíos, o poros, con respecto al volumen total del suelo, es decir, el volumen de sólidos más el volumen de los poros (Brady y Weil, 2008).

La porosidad representa una característica variable en porcentaje y en diámetro de los poros ya que depende principalmente de la textura, la densidad aparente, la densidad real, la estructura y el contenido de materia orgánica (Porta *et al.*, 2003). Los macroporos (> 5 mm) contienen aire y los microporos (< 2 mm) retienen el agua, por lo tanto, el espacio poroso es responsable del balance entre el agua y el oxígeno para el crecimiento de las plantas (Brady y Weil, 2008).

La distinción entre macroporosidad y microporosidad no tiene una base física real, pero tiene como finalidad expresar la mayor o menor eficacia de un hueco o poro para participar en los procesos de transferencia de agua y aire.

La porosidad tiene relación con otras propiedades del suelo como la textura, los suelos arenosos al contener estructuras menos compactas poseen una mayor cantidad de macroporos que de microporos, por lo tanto, tienen una excelente capacidad de aireación pero una mínima capacidad de retención de agua. Por el contrario, en los suelos arcillosos, debido a sus estructuras más compactas, hay mayor cantidad de microporos, por lo cual se retiene una mayor cantidad de agua aunque muestra una aireación deficiente (Millar *et al.*, 1965).

3.1.3 Densidad

La densidad expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo; para el caso de los suelos se analizan dos tipos de densidad, la real y la aparente.

La densidad real representa la densidad media de la fase sólida o densidad de las partículas sin espacios porosos (Brady y Weil, 2008). Para un horizonte, será prácticamente constante a lo largo del tiempo al ser independiente de la estructura y varía poco la naturaleza de las partículas ya que los factores formadores del suelo que afectan la composición de las partículas requieren de un gran periodo de tiempo para afectar la densidad del suelo (Porta *et al.*, 2003).

Los valores promedio de la densidad real oscilan entre 2.6 y 2.75 g cm⁻³, predominan en los suelos minerales de arcillas, cuarzos, feldspatos y minerales con elementos metálicos. Valores por debajo indican la presencia de porcentajes elevados de materia orgánica y valores superiores indican la presencia de porcentajes elevados de minerales con elementos metálicos (Hillel, 2004). Su determinación es importante para el cálculo del espacio poroso, la superficie específica de las partículas y la velocidad de sedimentación en un medio líquido (Porta *et al.*, 2003).

La densidad aparente es la masa por unidad de volumen que ocupa la muestra de suelo e incluye el espacio poroso (Brady y Weil, 2008); casi todos los suelos tienen una densidad aparente que varía de 0.4 a 2 g cm⁻³ (Aguilera, 1989). Es una medición que informa sobre la compactación de cada horizonte y permite inferir las dificultades para la emergencia, el enraizamiento y la circulación del agua y del aire; además, es una propiedad directamente relacionada con la estructura (Porta *et al.*, 2003; Brady y Weil, 2008).

De esta manera, cuanto menor es la densidad aparente mayor es el porcentaje de porosidad del suelo, y por lo tanto, mayor es el espacio disponible para el agua y el aire. Consecuentemente, la densidad aparente es mayor en suelos arenosos y menor en suelos arcillosos, aunque puede variar con el grado de compactación del suelo (Brady y Weil, 2008); una porosidad del 40 al 50% es satisfactoria para el desarrollo vegetal, lo que equivale a una densidad aparente intermedia de 1.3 a 1.4 g cm⁻³ (Domínguez, 1997).

3.1.4 Capacidad de intercambio iónico

En el suelo gran parte de la actividad físico-química se lleva a cabo por medio del complejo coloidal; los coloides representan un sistema físico-químico particular formado por dos o más fases, principalmente una fase continua o fluida y otra dispersa en forma de partículas (Doménech y Peral, 2006).

Las partículas coloidales del suelo presentan un tamaño inferior a dos micras, se incluyen a este grupo la fracción de arcilla de tamaño coloidal, las sustancias húmicas y óxidos e hidróxidos de hierro, aluminio y manganeso. En el suelo, las partículas coloidales se hallan en contacto permanente con la solución acuosa del mismo y debido a su gran superficie y carga (positiva o negativa) el complejo coloidal tiene la capacidad de adsorber e intercambiar iones (Brady y Weil, 2008).

El intercambio iónico en el suelo se refiere a los procesos reversibles, las partículas sólidas adsorben iones de la fase acuosa liberando al mismo tiempo otros iones en cantidades equivalentes. Se establece el equilibrio entre ambas partes y es un proceso dinámico que se desarrolla en la superficie de las partículas (Tisdale *et al.*, 1993).

La propiedad del suelo para intercambiar iones tiene repercusiones en el comportamiento del suelo ya que controla la disponibilidad de nutrimentos para las plantas como K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} ; también interviene en los procesos de aglutinación y dispersión de las arcillas y por consiguiente en el desarrollo de la estructura y la estabilidad de agregados. Asimismo, determina el papel del suelo como depurador natural ya que permite la retención de elementos contaminantes incorporados al suelo (Tisdale *et al.*, 1993).

Las causas que originan el intercambio iónico son los desequilibrios eléctricos de los coloides del suelo. Para neutralizar las cargas se adsorben iones que se pegan a la superficie de las partículas, quedan débilmente retenidos sobre las partículas del suelo y se pueden intercambiar con la solución. Por lo tanto, cuanta mayor superficie tenga el material y más desequilibrada se encuentre, más iones se adsorberán (Millar *et al.*, 1965).

Según el tipo de iones que se intercambien, como consecuencia del tipo de carga superficial, se puede generar cambio de cationes o aniones, cabe señalar que el cambio catiónico parece presentarse con mayor frecuencia que el aniónico (Tisdale *et al.*, 1993).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una propiedad de las arcillas y de la materia orgánica muy fraccionada con carga negativa, en cuyas superficies se pueden acumular iones de forma reversible para ceder cationes de la fase líquida readsorbiendo al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes. De esta manera, en el sistema se establece un equilibrio dinámico entre los cationes de la solución externa y los que ocupan sedes de intercambio (Porta *et al.*, 2003).

Para su determinación, la CIC representa el número de moles de iones con carga positiva adsorbidos que pueden ser intercambiados por unidad de masa seca bajo condiciones controladas, se expresa en centimoles de carga positiva por kilogramo, $cmol(+) kg^{-1}$. Los cationes intercambiables más frecuentes son Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , H^+ y Al^{3+} , la presencia y predominio de unos u otros depende de las condiciones del medio y de las interacciones en la interfase (Porta *et al.*, 2003).

Los factores que influyen en la CIC son el tamaño de las partículas debido a que cuanta más pequeña es la partícula mayor es la superficie específica; también influye la composición y estructura de las partículas en las posibilidades de sus cationes; así como la cantidad y grado de descomposición de la materia orgánica (Tisdale *et al.*, 1993).

De esta manera, los suelos ricos en arcilla y materia orgánica bien humificada presentan un potencial alto de adsorber y retener los nutrimentos del suelo, caso contrario para los suelos arenosos y/o limosos y pobres en restos orgánicos bien descompuestos (Porta *et al.*, 2003).

La capacidad de intercambio aniónico, se presenta cuando las partículas coloidales tienen carga positiva como puede ser en suelos con cantidades importantes de óxidos de aluminio, óxidos de hierro

y alofano o imogolita; sin embargo, al aumentar el intercambio aniónico, la adsorción de aniones como fosfatos y sulfatos disminuye, lo cual puede afectar la nutrición de las plantas (Porta *et al.*, 2003).

3.1.5 pH

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución y se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrogeno (H^+) presentes en la solución. En los suelos ácidos se encuentra una mayor cantidad de iones H^+ que de iones hidroxilo (OH^-) y viceversa para los suelos con pH básicos (Wild, 1973).

El centro de la escala corresponde al 7 que representa la neutralidad, los valores inferiores a éste se consideran ácidos y los superiores básicos. En un horizonte del suelo el pH está determinado por los cationes adsorbidos sobre los minerales de arcilla, los cationes en la solución y la materia orgánica, con un intervalo de valor de pH entre 3.5 y 10; por lo tanto, las sustancias capaces de liberar H^+ son ácidas y las capaces de ceder OH^- son básicas (Brady y Weil, 2008).

En este sentido, los suelos poseen iones hidrógeno en la solución pero también existen en el complejo de cambio, se conocen dos tipos de acidez, la real o activa (en solución) y la de reserva o cambio (los adsorbidos); ambas formas están en equilibrio dinámico, por lo tanto, si se eliminan iones hidrógeno de la solución se liberan los adsorbidos por la arcilla y la materia orgánica coloidal y da como resultado una resistencia a la modificación de su pH (Brady y Weil, 2008).

Los factores que hacen que el suelo tenga un determinado valor de pH son diversos; se puede mencionar la roca parental de reacción ácida o básica, los residuos ácidos de la actividad orgánica, la acidificación del suelo con la lluvia, el complejo adsorbente (saturado de cationes de reacción básica o ácida) y la naturaleza de los componentes cambiadores de iones ya que puede variar la liberación de iones adsorbidos (Tan, 1998; Brady y Weil, 2008).

De acuerdo a Porta *et al.* (2003), el pH influye en muchas características físicas, químicas y biológicas. Entre las propiedades físicas se encuentran: dispersión-floculación de los coloides, estructura, porosidad, aireación, conductividad hidráulica y regímenes de humedad y de temperatura. Como características químicas con influencia del pH: meteorización, movilidad de elementos tóxicos, disponibilidad de nutrimentos (Tabla 2), descomposición de la materia orgánica, adsorción de iones y neoformación de minerales de arcilla. Y entre las propiedades biológicas se encuentran: relaciones entre los microorganismos, población bacteriana, humificación, fijación de nitrógeno, movilidad y absorción de nutrimentos.

Tabla 2. Principales efectos nutrimentales a diversos intervalos de pH.

pH	Evaluación	Efectos esperados en nutrimentos
< 4.5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables
4.5-5.5	Fuertemente ácido	Posible toxicidad de Al ³⁺ Exceso de Co, Cu, Fe, Mn y Zn Deficiencia de Ca, K, N, Mg, Mo, P y S Actividad bacteriana escasa
5.6-6.5	Medianamente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de cultivos por su máxima disponibilidad de nutrimentos
6.6-7.3	Neutro	Favorable para la actividad microbiana Mayor disponibilidad de N, S y P
7.4-7.8	Medianamente básico	Suelos generalmente con CaCO ₃
7.9-8.4	Básico	Disminuye la disponibilidad de P y B Deficiencia decreciente de Co, Cu, Fe, Mn, Zn Abundancia de Ca, Mg y Mo
8.5-9	Fuertemente alcalino	Problemas de clorosis férrica
> 9	Extremadamente alcalino	Elevado porcentaje de Na intercambiable Toxicidad de Na y B Actividad microbiana escasa Micronutrimentos poco disponibles, excepto el Mo

(Modificado de USDA, 1998).

3.1.6 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad de una solución acuosa para transmitir una corriente eléctrica; ya que la solución al tener sales disueltas (iones cargados) conduce la corriente eléctrica. Es una propiedad que se encuentra muy relacionada con el tipo y valencia de los iones presentes, sus concentraciones, movilidad, temperatura del líquido y su contenido de sólidos disueltos; por lo cual, es una forma indirecta de medir la salinidad del extracto de suelo (NRC, 1993).

Las sales solubles más frecuentes están formadas por los aniones cloruro y sulfato y por los cationes calcio, magnesio, sodio y potasio. No obstante otros iones (nitrato, bicarbonato y potasio) participan en la concentración total de sales en el suelo pero en menor proporción (NRC, 1993).

Para obtener la medición de la conductividad eléctrica específica de una solución, de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, se considera el recíproco de la resistencia específica de una corriente alterna medida entre las caras opuestas de un centímetro cúbico de una solución acuosa a una temperatura específica y se expresa en decisiemens (dS m⁻¹). La conductividad eléctrica en los suelos oscila entre menos de 1 y 20 dS m⁻¹ con lo cual se puede clasificar el grado de salinidad (Tabla 3).

En lo que respecta a la relevancia con la fertilidad y nutrición vegetal, un exceso de sales en la solución del suelo tiene efectos perjudiciales para los cultivos, ya que puede llegar a producir plasmólisis de células radiculares, es decir, pérdida de agua en las células y por lo tanto su deshidratación. Aunque es importante señalar que existen plantas con tolerancia a la salinidad desde 3 hasta 16 dS m⁻¹ (Wild, 1973).

Tabla 3. Clasificación de suelos de acuerdo a su conductividad eléctrica.

Consecuencias en el suelo	Valor (dS m⁻¹) a 25°C
Efectos despreciables de salinidad	< 1.0
Muy ligeramente salino	1.1-2.0
Moderadamente salino	2.1-4.0
Suelo salino	4.1-8.0
Fuertemente salino	8.1-16.0
Muy fuertemente salino	> 16.0

(NOM-021-RECNAT-2000).

3.1.7 Materia orgánica

La materia orgánica es el producto de la descomposición de sustancias animales y vegetales en el suelo. De acuerdo a Porta *et al.*, (2003), la materia orgánica está compuesta por dos grupos. El primero lo compone la biomasa microbiana y la materia orgánica no humificada que representa la biomasa vegetal y animal senescente. El segundo componente es el humus que está conformado por los residuos orgánicos descompuestos y estables; se pueden reconocer sustancias no húmicas cuyas características químicas son todavía similares a los materiales de origen y sustancias húmicas con características físicas y químicas específicas.

Las sustancias no húmicas incluyen aquellos materiales orgánicos cuyas características químicas resultan todavía identificables, la mayoría son fácilmente biodegradables y tienen una vida corta en los suelos, por ejemplo, glúcidos, proteínas, péptidos, aminoácidos, grasas, ceras y ácidos orgánicos de bajo peso molecular. Las sustancias húmicas no tienen una composición elemental definida o un punto de fusión concreto; son de color oscuro, con carga variable, de carácter ácido, predominantemente aromáticas, hidrófilas, químicamente complejas, de elevado peso molecular y son compuestos relativamente oxidados.

En lo que respecta a su importancia, la materia orgánica controla muchas propiedades del suelo y es un componente indispensable en los ciclos biogeoquímicos de elementos, es un buen indicador de la fertilidad del suelo (Manlay *et al.*, 2007; Brady y Weil, 2008) ya que interviene en muchos procesos de trascendencia para el comportamiento y fertilidad así como para el crecimiento de las plantas y organismos edáficos (Tabla 4).

Tabla 4. Procesos relacionados con la fertilidad de los suelos afectados por la materia orgánica.

Procesos	Efecto de la materia orgánica
Físicos	Favorece la: <ul style="list-style-type: none">- Formación y estabilización de agregados- Aireación- Resistencia al encostramiento- Velocidad de infiltración- Circulación y balance hídrico del suelo- Penetración de las raíces- Resistencia a la erosión y evaporación
Químicos y Físico-Químicos	<ul style="list-style-type: none">- Almacena nutrimentos bajo formas orgánicas- Permite la formación de complejos y quelatos- Evita pérdidas nutrimentales por lavado- Retiene nutrimentos al promover la capacidad de intercambio iónico- Libera nutrimentos al mineralizarse- Controla la acidez y basicidad del suelo por su poder amortiguador- Aumenta la adsorción de contaminantes
Biológicos y de estímulo para el crecimiento vegetal	<ul style="list-style-type: none">- Proporciona energía y nutrimentos para la flora y la fauna del suelo- Retiene el carbono atmosférico- Contiene reguladores del crecimiento- Posee efectos antibióticos sobre patógenos

(Modificado de Porta *et al.*, 2003).

3.1.8 Color

La importancia de la determinación del color radica en que el suelo tiene un conjunto de atributos que de alguna forma se relacionan con su color, por lo tanto, éste difiere entre horizontes y entre distintas clases de suelos.

El color de un horizonte está determinado principalmente por compuestos de hierro, componentes de la materia orgánica y, en menor medida, óxidos, hidróxidos y sulfuros de manganeso; el color refleja el contenido de materia orgánica al igual que la existencia de procesos de oxidación o reducción en los suelos (Fitzpatrick, 1980).

La materia orgánica imprime un color gris, gris oscuro o pardo oscuro a los suelos, a menos que otros constituyentes como el óxido de hierro y la acumulación de sales modifiquen el color. Los suelos rojizos y amarillos son colores que resultan de la presencia de pequeñas cantidades de compuestos de hierro e indican que el agua se filtra fácilmente a través del suelo. Los colores grisáceos y azulados, en climas húmedos, indican la presencia de compuestos de hierro reducido, filtración escasa o existencia de pantanos; y en climas secos, indican que el humus es escaso. Finalmente, el color blanco puede ser consecuencia de sales depositadas en el suelo (Fitzpatrick, 1980; Aguilera, 1989).

3.1.9 Microorganismos

Los microorganismos en el suelo están constituidos por bacterias, hongos, algas, protozoarios y virus (Brock y Madigan, 1991); constituyen el grupo más diverso en términos estructurales, funcionales y a nivel taxonómico; aunque la diversidad de microorganismos depende de las propiedades específicas de cada suelo. En este sentido, la actividad microbiana se regula por las características físicas y químicas del suelo, por la composición de los materiales orgánicos, por la fertilidad química, por la naturaleza de la comunidad microbiana y por los cambios en el uso del suelo, entre otras actividades humanas y condiciones ambientales (Alexander, 1980).

La actividad de los organismos resulta importante para mantener la fertilidad del suelo, la nutrición vegetal y ciertos procesos ecológicos que permiten el funcionamiento de los ecosistemas. Los microorganismos participan en los procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica, en la regulación de ciclos biogeoquímicos (carbono, nitrógeno, fósforo y azufre) y en la retención-liberación de otros nutrientes para las plantas (Paul, 2007).

Por ejemplo, en la fijación y ciclaje del nitrógeno atmosférico están implicadas bacterias simbióticas como *Rhizobium sp.* y *Frankia sp.*, bacterias de vida libre como *Azotobacter sp.*, *Azospirillum sp.*, *Burkholderia sp.*, *Thiobacillus sp.*, así como las cianobacterias *Anabaena sp.* y *Nostoc sp.* (Subba, 1999).

Otros ejemplos son las simbiosis mutualistas mediante las cuales el microorganismo ofrece un beneficio a su huésped a cambio de recibir otro, en este rubro se encuentran las micorrizas, una simbiosis de hongos y raíces de plantas, la planta suministra al hongo fuentes de carbono procedentes de la fotosíntesis y el hongo al colonizar las raíces forma una extensa red de micelio en el suelo para facilitar la obtención de agua y nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno (Smith y Read, 1997).

3.2 Nutrición vegetal

La nutrición vegetal es un proceso mediante el cual la planta absorbe del medio que le rodea las sustancias necesarias para llevar a cabo su metabolismo y desarrollo; estas sustancias son de tipo mineral y constituyen los elementos nutritivos esenciales (Marschner, 1995). El término elemento mineral esencial fue propuesto por Arnon y Stout (1939); con base en sus resultados con cultivos hidropónicos, concluyeron que para que un elemento sea considerado esencial debe cumplir con los siguientes criterios:

1. La falta del elemento impide a la planta completar su ciclo de vida.
2. La falta o deficiencia es exclusiva del elemento en cuestión y sólo puede ser corregida suministrando dicho elemento.
3. El elemento esencial está relacionado directamente con la nutrición de la planta, por ser constituyente de alguna sustancia fundamental o por participar en funciones vitales.

Dependiendo de la cantidad utilizada por la planta, los elementos esenciales pueden dividirse en macronutrientes (miles de partes por millón, ppm) y micronutrientes (de cientos a algunas ppm) (Brady y Weil, 2008); la clasificación es arbitraria y no indica orden de prioridad ya que la planta toma todos los elementos que necesita de manera indistinta (Tabla 5).

Los nutrientes esenciales se analizan de diferente manera dependiendo de su fuente de suministro; de la atmósfera se obtiene carbono y oxígeno y del agua hidrógeno y parte del oxígeno; por lo que a pesar de ser considerados como macronutrientes indispensables y en concentraciones mayores (representan entre el 90 y el 95% del peso seco de las plantas) son estudiados de manera distinta a los demás nutrientes los cuales tienen como fuente principal de suministro el sistema suelo (Wild, 1973; Brady y Weil, 2008).

Tabla 5. Clasificación de nutrientes esenciales de acuerdo a la cantidad utilizada por las plantas.

Macronutrientes		Micronutrientes
Primarios	Secundarios	
Carbono (C)	Azufre (S)	Hierro (Fe)
Oxígeno (O)	Calcio (Ca)	Manganeso (Mn)
Hidrógeno (H)	Magnesio (Mg)	Cobre (Cu)
Nitrógeno (N)		Zinc (Zn)
Fósforo (P)		Boro (B)
Potasio (K)		Molibdeno (Mo)
		Cloro (Cl)
		Níquel (Ni)

(Recopilación de Marschner, 1995; Brady y Weil, 2008; Hänsch y Mendel, 2009).

Algunos elementos como el silicio (Si), aluminio (Al), cobalto (Co), sodio (Na) y selenio (Se) pueden ser considerados como elementos benéficos ya que no son requeridos por todas las plantas pero pueden promover el crecimiento de una especie y pueden ser esenciales para un taxón en particular (Pilon-Smits *et al.*, 2009).

La regulación de la nutrición mineral en la planta requiere de la coordinación de al menos cuatro procesos fundamentales: a) la movilización de los nutrientes en la rizósfera y su adquisición por la raíz, b) la translocación y transporte vía xilema; c) la adquisición, utilización y almacenaje en la hoja; y d) la removilización vía floema (Azcón-Bieto y Talón, 2008; Brady y Weil, 2008).

3.2.1 Disponibilidad y absorción

La fuente de los nutrientes esenciales provienen del suelo donde se desarrolla la planta; ya sea en forma disponible en la solución, en forma intercambiable asociados a la fracción coloidal o disponibles a largo plazo producto de la descomposición química de los minerales de origen del suelo o de la materia orgánica (Porta *et al.*, 2003). No obstante, también se puede considerar fuente de nutrientes

la atmósfera (para carbono y oxígeno), el agua (para hidrógeno y oxígeno), los fertilizantes y diversas fuentes orgánicas como residuos vegetales o animales (Wild, 1973).

Los elementos esenciales se presentan en la naturaleza de diversas formas químicas y no todas se encuentran disponibles para las plantas; por lo tanto, algunas formas, que se piensa absorben las plantas, son consideradas como formas disponibles de absorción (Tabla 6).

Tabla 6. Elementos esenciales en la mayoría de las plantas en relación con su forma de absorción.

Elemento	Forma de absorción
C	CO ₂
O	O ₂ , H ₂ O
H	H ₂ O
N	NO₃⁻ , NH ₄ ⁺
P	H₂PO₄⁻ , HPO ₄ ²⁻
K	K ⁺
Ca	Ca ²⁺
Mg	Mg ²⁺
S	SO ₄ ²⁻
Fe	Fe ³⁺ , Fe²⁺
Mn	Mn ²⁺
Zn	Zn ²⁺
Cu	Cu ⁺ , Cu²⁺
B	H ₃ BO ₃
Mo	MoO ₄ ²⁻
Cl	Cl ⁻
Ni	Ni ²⁺

(Recopilación de Marschner, 1995; Brady y Weil, 2008; Hänsch y Mendel, 2009; Maathuis, 2009). Las formas preferentes de absorción se resaltan en negritas.

En este sentido, un nutrimento disponible corresponde a cualquier elemento nutritivo que, bajo ciertas condiciones físicas y químicas del sistema suelo-planta, está en disposición de ser absorbido por la planta (Wild, 1973). Representa una característica difícil de cuantificar; ya que la disponibilidad es la resultante de una serie de reacciones físicas y químicas simultáneas en equilibrio dinámico en el sistema suelo-planta.

En el suelo los elementos nutritivos no se presentan en formas únicas, ya que pueden estar presentes en la fase soluble, adsorbidos en el complejo coloidal, fijados en los minerales de origen o en precipitados; y normalmente llega a establecerse un equilibrio con los elementos en la solución del suelo compensando las pérdidas de elementos por la absorción de la planta (Wild, 1973).

Además, la disponibilidad de los nutrimentos en el suelo puede fluctuar considerablemente en tiempo y espacio debido a factores climáticos como precipitación, temperatura y viento. También influyen factores físicos, químicos y biológicos como: pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico, salinidad, materia orgánica del suelo, contenido de arcilla, relación con otros elementos y la

especie vegetal, entre otros factores; por lo cual debe ser entendido como un proceso dinámico (Calace *et al.*, 2006; Maathuis, 2009).

La absorción de nutrimentos se realiza por raíces jóvenes y pelos radiculares, cada especie vegetal tiene un sistema radicular característico por lo que su morfología y distribución de raíces varía entre especies y está sujeto principalmente a las condiciones del suelo en que se desarrolla (Wild, 1973). Las funciones principales de las raíces son la absorción de agua y elementos nutritivos, el transporte de estos elementos a las partes aéreas, la producción de fitohormonas, la acumulación de materiales de reserva y el anclaje de la planta al suelo (Wild, 1973; Marschner, 1995).

La absorción radicular se puede realizar por medio de dos vías, la vía apoplástica, es decir de manera extracelular, y por la vía simplástica a través del citoplasma; no obstante, se puede dar la combinación de ambas rutas de absorción. Los elementos son tomados por los pelos radiculares y atraviesan el córtex radicular hasta llegar a la endodermis donde son incorporados hacia el xilema (Marschner, 1995).

La absorción puede ser activa o pasiva, lo cual va a depender del elemento, su relación electroquímica con la raíz, así como de su concentración. En la absorción activa, el elemento atraviesa la membrana plasmática hasta el tonoplasto gastando energía proveniente de la respiración; es decir, va en contra del gradiente de concentración y se realiza mediante las proteínas bomba de la membrana. En la absorción pasiva, el elemento entra sin que la célula necesite gastar energía, desplazándose de una región de mayor concentración en el exterior a una de menor concentración a través de la superficie de la raíz (Salisbury y Ross, 2000).

3.2.2 Macronutrientos

Las formas iónicas de absorción del *nitrógeno* por la raíz son el nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+); el nitrato es preferente aunque es absorbido por la planta por procesos metabólicos con gasto de energía (Marschner, 1995). Las dos formas de absorción son muy lábiles en el suelo (Maathuis, 2009), por lo que la determinación de éstas formas disponibles para las plantas resulta problemática.

El balance de las formas disponibles de N es resultado dinámico de una serie de reacciones que se producen continuamente. Las entradas o ganancias de N disponible provienen de la fijación biológica simbiótica o libre del N atmosférico (N_2) y de la mineralización de la materia orgánica por parte de microorganismos, con lo cual se obtiene NH_4^+ y NO_3^- en la solución del suelo. Las salidas o pérdidas de N son la incorporación del elemento a microorganismos, la fijación en el complejo coloidal (principalmente de NH_4^+), las pérdidas de NH_4^+ y NO_3^- por la denitrificación realizada por microorganismos, así como la lixiviación (Wild, 1973).

La mayor parte de las reservas de N del suelo se encuentran en la fracción de N orgánico, no asimilable por las plantas, y de ahí la importancia de los procesos de mineralización del N vía microorganismos en el suelo.

En este sentido, la mineralización y la incorporación a los microorganismos se llevan a cabo simultáneamente por lo cual el balance de estos procesos inversos depende de la relación carbono nitrógeno (C/N) de la materia orgánica en descomposición. El balance está equilibrado cuando la relación varía entre 20 y 30, por encima de estos valores los microorganismos utilizan más cantidad de N para su metabolismo de lo que liberan de la materia orgánica y se produce mayor inmovilización; pero con una relación C/N inferior a 20 se produce un excedente de N que es aprovechado por la planta (Troeh y Thompson, 1993).

En la planta, el N se requiere en forma de NH_4^+ , por lo que el NO_3^- es reducido a esta forma, la reducción se lleva a cabo en las raíces y en las hojas, primero en el citoplasma se lleva la reducción del NO_3^- a nitrito (NO_2^-) y después en los cloroplastos la reducción de NO_2^- a NH_4^+ (Maathuis, 2009). Tras esta fase, el metabolismo del N se desglosa en dos etapas; en la primera se forman compuestos orgánicos de bajo peso molecular como aminoácidos, amidas y aminas; y en la segunda fase se sintetizan compuestos de alto peso molecular como proteínas y ácidos nucleicos (Marschner, 1995).

En el metabolismo del N influyen varios factores: genotipo, humedad, temperatura, suministro y concentración de nutrimentos como P, K, S, Mo, Fe y Cu (particularmente sus interacciones con P y K), así como la luz y la madurez de la planta (Domínguez, 1997).

El fósforo se encuentra disponible para la planta como ión fosfato (PO_4^{3-}), y se absorbe preferentemente como ión dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-) en suelos con un pH inferior a 7 y como fosfato de hidrógeno (HPO_4^{2-}) en suelos básicos (Brady y Weil, 2008). Se acepta como P asimilable el presente en la solución del suelo ya que el P adsorbido de forma intercambiable es muy lábil; la absorción del P es activa, se realiza en contra de un gradiente de concentración y la energía necesaria para realizar esta absorción se deriva de la respiración (Domínguez, 1997).

Como fuente de P se encuentra la mineralización de la materia orgánica por parte de los microorganismos y en menor medida la meteorización del elemento a partir de los materiales de origen del suelo, con lo cual se generan los fosfatos en la solución del suelo. Las pérdidas son por incorporación del P a los microorganismos, lixiviación y en gran medida por adsorción en el complejo coloidal y adsorción por compuestos de Fe, Al y Ca (Wild, 1973).

Para contrarrestar los efectos causados por la alta adsorción, la mayoría de las plantas recurren a la asociación simbiótica de micorrizas para mejoran la adquisición de P ya que los micelios con los cuales los hongos colonizan a las raíces de las plantas tienen una alta afinidad para este elemento (Smith y Read, 1997). Las raíces de las plantas realizan otra estrategia para compensar la alta adsorción del P y la baja concentración en la solución del suelo, ya que algunas son capaces de segregar complejos orgánicos ácidos que reemplazan el P adsorbido en el complejo coloidal a la solución del suelo para ser absorbido por la planta (Maathuis, 2009).

En la planta el P permanece como fosfato, uniéndose a grupos hidroxilo de azúcares y alcoholes, así como a otros grupos fosfatos. Forma parte de los ácidos nucleicos (ADN y ARN) y de la molécula de trifosfato de adenosina (ATP) indispensable en las reacciones energéticas. Juega un papel importante en la estructura de membranas celulares al formar parte de los fosfolípidos y sirve de

almacén para el desarrollo del embrión y la germinación de semillas (Marschner, 1995). Representa un elemento muy móvil en la planta ya que se redistribuye fácilmente de un órgano a otro acumulándose en las hojas jóvenes, en las flores y semillas en desarrollo (Maathuis, 2009).

La absorción del P por la planta está en función de la concentración en la solución del suelo; aunque también influyen factores como: tipo de cultivo, humedad, temperatura, capacidad de adsorción del suelo, pH y concentraciones de N y K en el suelo, además de relaciones con Ca, Fe, Cu, y Zn en el suelo y al interior de las plantas (Domínguez, 1997).

Las plantas absorben el potasio en su forma catiónica K^+ , la cual se encuentra en la solución del suelo en la rizósfera en equilibrio con el K intercambiable (Maathuis, 2009). Las membranas celulares tienen baja permeabilidad para el K, no obstante, éste elemento es absorbido fácilmente en cantidades considerables de manera activa metabólicamente (Marschner, 1995).

Una vez absorbidos los iones de K, éstos pasan a través de las células corticales hacia el xilema por donde son transportados, principalmente, hacia los tejidos jóvenes en crecimiento. A diferencia de N y P, el K en la planta no forma compuestos orgánicos, pero es necesario para las reacciones metabólicas debido a su capacidad de activar una gran cantidad de enzimas; participa en la síntesis de proteínas, en el mantenimiento de la turgencia celular y en la regulación de la apertura y cierre de estomas al generar presiones osmóticas que llevan agua al interior celular (Maathuis, 2009).

Existe una fuerte interacción de este nutrimento con el N, el K tiene cierta función reguladora del metabolismo del N al ser activador de enzimas y proteínas que contienen este elemento (Domínguez, 1997; Maathuis, 2009).

El calcio se absorbe como ión divalente (Ca^{2+}), es abundante en la mayoría de los suelos y rara vez sus bajas concentraciones limitan el desarrollo de las plantas, excepto en suelos ácidos con lluvias abundantes ya que bajo estas circunstancias es fácil de lixiviar (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

El Ca intercambiable es considerado la forma más asimilable por las plantas; se le encuentra adsorbido a la fracción coloidal edáfica en equilibrio con los iones calcio de la solución del suelo y con los fosfatos de calcio (Maathuis, 2009). En el suelo, el Ca desarrolla una función principal ya que constituye un neutralizador de la acidez del suelo al intercambiar Ca^{2+} por Al^{3+} e H^+ (Brady y Weil, 2008).

El Ca entra a las raíces por canales permeables en cantidades muy superiores a las que requiere la planta y aunque algunos canales son selectivos y otros no, se considera que tiene absorción pasiva. Dentro de la planta las funciones celulares del Ca son estructurales y de segundos mensajeros, confiere rigidez a las paredes celulares y puede estar libre o combinado con grupos de escasa movilidad como carbonatos, fosfatos, carboxilos de fosfolípidos, proteínas y azúcares, por lo cual es relativamente inmóvil y es secuestrado en vacuolas grandes de células maduras (Maathuis, 2009). Aunada a estas funciones, el calcio también es esencial para el desarrollo del tubo polínico ya que se necesitan altas concentraciones de este nutrimento en su citoplasma (Pilbeam y Morley, 2007).

Las plantas absorben el magnesio en su forma divalente (Mg^{2+}); se considera que el Mg intercambiable es la forma asimilable por la planta, su toma es pasiva y en la planta se comporta como

un elemento muy móvil (Maathuis, 2009). La adsorción de Mg en las partículas del suelo es relativamente débil lo que lleva a índices altos de lixiviación y por lo tanto a eventuales deficiencias del nutrimento (Maathuis, 2009). En su absorción es susceptible a la competencia con otros cationes como amonio, potasio, calcio y manganeso, por lo que es frecuente que se produzcan deficiencias inducidas por estos elementos (Marschner, 1995).

En la planta la función principal del Mg se encuentra en los cloroplastos ya que es parte de la molécula de clorofila y tiene un papel importante en la fotosíntesis por su capacidad de promover las reacciones de luz en el estroma. La mayoría del Mg celular tiene funciones como cofactores necesarios para la acción de enzimas, está presente en reacciones enzimáticas de transferencia de energía, en fosforilación y defosforilación del ATP, en estabilización de nucleótidos y ácidos nucleicos, en unión de subunidades de ribosomas y como generador de turgencia y balance de cargas de aniones (Marschner, 1995; Merhaut, 2007; Maathuis, 2009). Es muy móvil en el floema y puede ser transportado fácilmente de las partes viejas a las jóvenes; además, se acumula en frutos y órganos de reserva (Domínguez, 1997).

El azufre se absorbe en forma de anión sulfato (SO_4^{2-}) en la solución del suelo y en esta forma se transporta por el xilema; aunque también puede ser absorbido por los estomas de las hojas como dióxido de azufre SO_2 , producto de la combustión, principalmente, de carbón y petróleo (Azcón-Bieto y Talón, 2008). La selectividad de la absorción del S depende de su concentración en la solución del suelo y existe evidencia de que la absorción es activa; no obstante, el ión sulfato, a causa de la gran solubilidad de muchas de las sales que forma, es bastante lábil en la solución por lo que es susceptible de lavado (Wainwright, 1984).

La disponibilidad del S está dada por la mineralización de la materia orgánica por parte de microorganismos de géneros como *Thiobacillus sp.* y *Thiothrix sp.*, que producen el sulfato de la solución del suelo. Las salidas del S representan la incorporación del elemento a los microorganismos, la adsorción por intercambio con los grupos hidroxilos, la desulfuración (realizada por microorganismos principalmente del género *Desulfovibrio sp.* que forman sulfuros, S^{2-} , que se volatilizan y pierden en la atmósfera), así como la lixiviación (Wainwright, 1984; Domínguez, 1997).

Ya en la planta, el sulfato es muy móvil y es fácilmente transportado por el xilema hacia las hojas donde la mayoría es reducido, primero, a sulfitos (SO_3^{2-}) y después, a sulfuros para ser incorporados de esta forma a aminoácidos como la cisteína y la metionina. Estos aminoácidos y los sulfuros generan grupos sulfhidrilos (SH o tiol) y puentes disulfuro (si un segundo grupo tiol está presente), la formación o rompimiento de estos puentes disulfuros impacta en la estructuración de las proteínas y por lo tanto, en su actividad, ya que estos puentes son fundamentales en muchas reacciones enzimáticas (Maathuis, 2009). También los grupos sulfhidrilos generan fitoquelatinas las cuales son proteínas que forman complejos con metales tóxicos y representa un mecanismo de defensa de las plantas frente a estos agentes (Marschner, 1995).

Otro componente de S en la planta lo constituye los fosfolípidos que integran todas las membranas celulares, se encuentran en mayor medida en las membranas de cloroplastos (Marschner, 1995). Los

excesos de S en la planta son depositados en forma de sulfatos en vacuolas y aunque algunos pueden ser reducidos en plástidos de raíces se cree que la mayoría se reducen en los cloroplastos de las hojas (Maathuis, 2009).

El S es un nutrimento con una fuerte relación con el N ya que ambos elementos son fundamentales para la formación y función de aminoácidos y proteínas (Haneklaus *et al.*, 2007).

3.2.3 Micronutrientos

El hierro puede ser absorbido de la solución del suelo como ión férrico (Fe^{3+}), ión ferroso (Fe^{2+}) o como quelatos¹ de hierro; aunque generalmente las plantas absorben la forma divalente (Marschner, 1995). Están involucrados muchos procesos en la solubilidad del Fe en el suelo, pero la hidrólisis y las especies acomplejadas en quelatos parecen ser las más importantes (Kabata-Pendias y Pendias, 2001).

La absorción del Fe se realiza mediante actividad metabólica y es móvil en la planta; en los exudados del xilema el Fe no aparece en forma quelada, sin embargo, su transporte es mediado por quelatos citratos; asimismo, es un elemento fácilmente transportado al tejido vegetal y su deficiencia aparece primero en partes jóvenes de la planta (Kabata-Pendias y Pendias, 2001).

El alto grado de oxidación de compuestos de hierro, la precipitación del nutrimento en carbonatos y/o fosfatos y la competencia de elementos por los sitios de quelación, son responsables de una baja absorción y transporte del Fe en el interior de las plantas; además, la absorción y el transporte del Fe entre los órganos de la planta se ven altamente afectados por factores como el pH, la concentración de Mn, Zn, Cu, Ca, P y relaciones con varios metales pesados (Kabata-Pendias y Pendias, 2001).

El Fe es un metal clave en la transformación de energía en diversos procesos celulares, participa en reacciones de óxido-reducción, por lo cual está involucrado en fotosíntesis, respiración mitocondrial, asimilación de nitrógeno, biosíntesis de hormonas (etileno, ácido giberílico, ácido jasmónico) y en osmoprotección. Forma parte de varias proteínas, como las enzimas conformadas por hierro y azufre (Fe-S), proteínas portadoras de electrones (p. ej. las ferredoxinas) y como regulador de otras proteínas; además, es un elemento estructural de las proteínas hemo, como en el caso de los citocromos fotosintéticos y respiratorios involucrados en la transferencia de electrones, así como de globinas, catalasas y peroxidasas (Hänsch y Mendel, 2009).

El manganeso es absorbido metabólicamente como catión divalente (Mn^{2+}) después de la reducción de sus óxidos en la superficie de las raíces y de su separación de complejos orgánicos

¹ Un quelato es una molécula en la que un ión metálico, como Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , entre otros, se une mediante varios enlaces a una molécula orgánica conocida como agente quelante, de manera que el ión quelado cambia sus propiedades químicas y normalmente para estos micronutrientos aumenta su estabilidad en la solución del suelo (Tan, 1998). Muchos de estos nutrimentos metálicos precipitan en la solución del suelo, pero al estar en forma quelada se evita la precipitación ya que la quelación cambia las propiedades químicas del metal.

Los agentes quelantes en el suelo pueden ser sintetizados principalmente por los microorganismos, las sustancias húmicas de la materia orgánica y las raíces. De esta forma, los quelatos aíslan al metal y lo mantienen quelado en la solución del suelo, posteriormente, en las superficies de las raíces éstas liberan sustancias que permiten separar el metal en forma disponible del quelato para ser absorbido hacia la planta (Tan, 1998).

(Marschner, 1995); sin embargo, la absorción pasiva es también probable especialmente cuando los intervalos de concentración del metal en la solución llegan a ser altos o incluso tóxicos (Kabata-Pendias y Pendias, 2001).

La solubilidad del Mn es altamente dependiente del pH (a mayor acidez, mayor solubilidad) y del potencial redox, es decir, del potencial de generar reacciones de oxidación y reducción. Cuando el potencial redox es alto (afectado por la concentración de oxígeno disuelto) el Mn existe en mayor medida en su forma tetravalente, por lo cual, no se puede absorber por las plantas (Humphries *et al.*, 2007). El contenido de Mn en el suelo se correlaciona positivamente con el contenido de arcilla y materia orgánica; además, tanto en el suelo como en la planta, se presentan interacciones con Mg, Fe, Zn, P, Ca, K y N (Kabata-Pendias y Pendias, 2001).

El Mn se toma y se transloca rápidamente en el interior de la planta como catión divalente hacia los tejidos meristemáticos; es probable que no se una a ligandos orgánicos insolubles en el tejido de raíz ni en fluidos del xilema, aunque llega a absorberse en menor medida por las raíces en forma de complejos orgánicos pero a una menor velocidad (Humphries *et al.*, 2007).

En la planta el Mn sirve como un metal activado catalíticamente y juega un papel importante en las enzimas. Por ejemplo se encuentra en las superoxidasas dismutasas que protegen a la célula del efecto de radicales libres, también se encuentra en enzimas involucradas en la ruptura de la molécula de agua en el fotosistema II, en enzimas deshidrogenasas, así como en transferasas, hidroxilasas y descarboxilasas (involucradas en la respiración, en la síntesis de aminoácidos y lignina, y en las concentraciones de hormonas) (Hänsch y Mendel, 2009).

La planta absorbe el cobre principalmente como catión divalente (Cu^{2+}) en suelos aireados ya sea de la solución del suelo o después de separarlo de los quelatos orgánicos; también se absorbe, en menor medida, como ión monovalente (Cu^+) en suelos pobres en oxígeno o con alto contenido de agua (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Aunque aumenta la evidencia de una absorción activa, no se descarta la absorción pasiva, especialmente a grandes concentraciones en la solución del suelo, además, su solubilidad desciende drásticamente a medida que aumenta el pH del suelo y aumenta la disponibilidad con la presencia de materia orgánica (Wild, 1973; Kabata-Pendias y Pendias, 2001).

El Cu en el suelo presenta interacciones con el Zn ya que, aparentemente, son absorbidos por los mismos mecanismos y pueden competir entre ellos inhibiendo mutuamente su absorción; además, se presentan otro tipo de interacciones en suelo y al interior de la planta con Fe, Mn, N, P y Ca (Kabata-Pendias y Pendias, 2001).

En el tejido de la raíz el Cu está prácticamente en forma de complejo, sin embargo, es más probable que entre a las células de las raíces en forma disociada y en el interior mantiene una baja movilidad, de manera que se retiene en las raíces y los tejidos foliares hasta la senescencia y sólo pequeñas cantidades se mueven a órganos jóvenes, aunque la distribución de Cu en el interior de las plantas puede ser muy variable (Kabata-Pendias y Pendias, 2001).

Después de ser absorbido el Cu, una gran parte del mismo se une a proteínas como metalotioneínas para prevenir que el micronutriente obtenga concentraciones tóxicas; sin embargo,

parte del Cu importado es capturado por proteínas chaperonas que lo guían a los sitios de la célula donde interviene el elemento (Hänsch y Mendel, 2009).

El Cu es esencial para la fotosíntesis ya que se encuentra en proteínas transportadoras de electrones en cloroplastos (como la plastocianina), participa en reacciones fotosintéticas, en respiración mitocondrial, en metabolismo de C y N, en protección contra estrés oxidativo, en liberación de radicales libres y es requerido para lignificación de la pared celular (Hänsch y Mendel, 2009).

El zinc es absorbido como catión divalente (Zn^{2+}) de la solución del suelo, aunque la mayoría de las veces probablemente se absorbe en forma de quelato fácilmente disponible para las plantas. Se plantea que su ingreso a la planta está controlado metabólicamente, sin embargo se puede absorber de forma pasiva a altas concentraciones en la solución del suelo. Los minerales de arcilla, los óxidos hidratados, la materia orgánica y el pH son los factores más importantes que controlan la solubilidad del Zn; la solubilidad así como la disponibilidad están negativamente correlacionadas con la saturación de Ca, el aumento de pH y con componentes de fósforo presentes en suelos (Kabata-Pendias y Pendias, 2001).

En la solución del suelo y al interior de la planta, el Zn presenta antagonismo con Cu, sinergismos y antagonismos con Fe, y varias interacciones, que dependen del tipo de planta analizada, con Mn, Mg, Ca, P y N; todas controladas por el pH del suelo (Domínguez, 1997; Kabata-Pendias y Pendias, 2001).

En la planta, el Zn se concentra en la raíz, en los cloroplastos, en fluidos de las vacuolas y en la membrana celular (Kabata-Pendias y Pendias, 2001). La importancia del Zn radica en que es un componente de enzimas que participan en la síntesis de proteínas como deshidrogenasas, proteinasas, peptidasas, y fosfohidrolasas; además, colabora en la producción de energía y mantiene la permeabilidad de las membranas. Las funciones básicas del Zn se relacionan al metabolismo de carbohidratos, proteínas, fosfatos, auxinas, ácidos nucleicos, y la formación de ribosomas (Hänsch y Mendel, 2009).

El boro es absorbido de manera pasiva de la solución del suelo como ácido bórico (H_3BO_3), el cual es fácil de lixiviar. Los factores del suelo que afectan la disponibilidad del nutrimento son pH, textura, humedad, materia orgánica y arcillas. La concentración de B en la solución del suelo está controlada por las reacciones de superficies adsorbentes como óxidos de aluminio y hierro, hidróxido de magnesio, minerales de arcilla, carbonato de calcio y materia orgánica (Malavé, 2005).

Después de que es absorbido por las raíces, el ácido bórico se conduce al xilema y es transportado a través del sistema vascular a las hojas y tejidos reproductivos, aunque depende de cada especie y su metabolismo (Camacho-Cristóbal *et al.*, 2008).

Este micronutrimento es importante para síntesis de proteínas, transporte de azúcares, respiración y metabolismo de carbohidratos y auxinas; aunque sus funciones principales están relacionadas con la síntesis de la pared celular (por medio de entrecruzamientos de paredes de polisacáridos), la lignificación, así como con la integridad estructural de las membranas (Hänsch y Mendel, 2009).

El molibdeno es absorbido de la solución del suelo en forma de molibdato (MoO_4^{2-}) en cantidades mínimas; y aunque no existe evidencia de una absorción activa, se le considera probable ya que compite con el sulfato y favorece su absorción en presencia de fosfatos (Hamlin, 2007). El Mo también se encuentra en la materia orgánica por lo cual es liberado a la solución del suelo a través de su mineralización, es un elemento que presenta una adsorción fuerte sobre óxidos e hidróxidos de hierro y es el único micronutriente que aumenta su solubilidad con el pH (Domínguez, 1997).

Debido a los requerimientos mínimos de Mo por la planta (de una a varias partes por millón), se sabe poco de las formas en las que se absorbe y transporta en la célula vegetal (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Su función en las plantas deriva de su participación en las reacciones de óxido-reducción como constituyente de sistemas enzimáticos; en este sentido, forma parte de la enzima nitrato reductasa, responsable de la reducción de los nitratos a nitritos, y de la enzima nitrogenasa, fundamental en la fijación biológica del N y presente en los microorganismos que realizan la fijación. También está implicado en la degradación de bases púricas como adenina y guanina, en la formación de la enzima que genera el ácido abscísico, en la latencia, en la germinación y en el cierre estomático (Hänsch y Mendel, 2009).

El cloro se absorbe como ión cloruro (Cl^-) y es altamente soluble; la absorción se realiza con actividad metabólica y presenta competencia con nitratos y sulfatos; el transporte se realiza a través del interior de las células de la corteza vía simplasto pero también puede ser absorbido por las hojas como cloruro o cloro gaseoso (Cl_2) (Domínguez, 1997).

Participa en la fotosíntesis por medio de rupturas de moléculas de agua en el fotosistema II, mantiene el gradiente de pH existente entre el citosol y la vacuola (al activar ATPasas del tonoplasto para bombear protones) y participa al igual que el K en la apertura y cierre de estomas (Hänsch y Mendel, 2009).

El níquel es un elemento metálico que se absorbe como catión divalente (Ni^{2+}), abunda en la naturaleza y siempre está presente en los tejidos vegetales aunque a concentraciones muy bajas de menos de una a pocas partes por millón (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Es un micronutriente componente de la enzima ureasa la cual es requerida en el interior de la planta por sustancias conocidas como ureidos (principalmente ácido alantónico y citrulina) los cuales transportan el amonio fijado en leguminosas por el xilema hasta las hojas vía floema (Azcón-Bieto y Talón, 2008); y es un nutriente constituyente de hidrogenasas utilizadas por bacterias fijadoras del nitrógeno (Marschner, 1995).

3.3 Generalidades de *Mangifera indica*

El mango pertenece a la división Magnoliophyta (angiospermas), que se caracteriza por presentar flores, doble fertilización y elementos de vasos derivados de traqueidas; conforma a la clase Magnoliopsida (dicotiledóneas) por tener durante las primeras etapas de desarrollo dos cotiledones, venación reticulada, pétalos en su mayoría múltiplos de cinco (pentámeras), polen triaperturado y raíz primaria (Mauseth, 2009); corresponde al orden Sapindales, que se caracteriza por incluir plantas leñosas con dos verticilos de estambres (a veces uno reducido a estaminodios) y disco nectarífero a veces reducido a glándulas internas (Gadek *et al.*, 1996); pertenece a la familia Anacardiaceae, la cual agrupa a plantas leñosas con hojas simples o compuestas y alternas, con flores hermafroditas pentámeras dispuestas en panículas con ovario súpero y frutos en forma de drupa; se agrupa en el género *Mangifera* (Galán-Sauco, 1999) (Tabla 7).

El género *Mangifera* comprende alrededor de 69 especies de mangos con zona de origen en el sudeste de Asia desde los 27° de latitud Norte hasta casi los 5° sobre el Ecuador y desde Sri Lanka hasta las Islas Carolinas. Estas especies se encuentran distribuidas en una amplia zona geográfica con distintas condiciones ambientales y exhiben una considerable diversidad genética, particularmente en caracteres del fruto (Galán-Sauco, 1999). La especie *M. indica* desde finales del siglo XVII ha llegado a tener una distribución pantropical en más de cien países debido a su alta comercialización (Parrota, 1993).

Tabla 7. Clasificación taxonómica de *M. indica*.

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Sapindales
Familia	Anacardiaceae
Genero	<i>Mangifera</i>
Especie	<i>Mangifera indica</i>

3.3.1 Descripción botánica

El árbol tiene un sistema radicular pivotante que puede alcanzar una profundidad de 6 m, aunque en su mayoría está compuesto de raíces absorbentes que se encuentran en los primeros 50 cm (Munro, 2005). Es una planta que desarrolla una estructura erecta y ramificada formando una copa redondeada con hojas perennes (Fig. 1a), alcanza alturas promedio de 10 a 20 m y llega a medir hasta 40 m en los trópicos (Galán-Sauco, 1999; Mora *et al.*, 2002; Munro, 2005).

Las hojas son alternas, dispuestas en espiral, simples, enteras, algo coriáceas, de forma variable entre elípticas y lanceoladas que oscilan entre 8 y 40 cm de longitud; el color de las hojas jóvenes varía en gran medida según los cultivos, por lo tanto, se pueden utilizar estas diferencias para la identificación de variedades (Galán-Sauco, 1999).

La inflorescencia es una panícula que varía de angosta hasta cónica y puede alcanzar hasta 30 cm de largo; las ramificaciones son terciarias y a veces cuaternarias y en la punta forman una cima. Las flores son hermafroditas y masculinas en la misma panícula, predominan estas últimas. La corola tiene 5 pétalos amarillos y el androceo consta de estambres y estaminoides; aunque en general el color de la inflorescencia así como el de la flor es característico de cada variedad (Fig. 1b) (Munro, 2005). La polinización del mango es esencialmente entomófila, siendo los principales polinizadores insectos del orden Díptera particularmente del suborden Calliphoridae, señalándose a las moscas como un importante polinizador (Galán-Sauco, 1999).

El fruto es una drupa carnosa con diferentes tamaños que dependen de la variedad, su peso corresponde desde 200 g hasta dos kg y en formas desde redondas, ovoides, arriñonadas y a veces hasta aplanadas lateralmente. Presenta coloraciones de amarillo hasta rojo o morado (Fig. 1c), y en términos generales, desde la floración hasta la cosecha, la fruta tarda de 100 a 120 días (Mora *et al.*, 2002).



Figura 1. Descripción botánica de *Mangifera indica*. a) Disposición del árbol de mango en el cultivo, b) Inflorescencia (tomado de Galán-Sauco, 1999), c) Fruto de la variedad Haden.

3.3.2 Condiciones edafoclimáticas y fenología

El mango no parece ser muy exigente en cuanto a la textura del suelo, y se puede establecer en suelos limoso o arenoso (Munro, 2005; De los Santos, 2006); requiere una capa mínima de 0.75 m de espesor, aunque lo ideal es de 1.0 a 1.5 m de profundidad, drenado, suelto y fértil, para lograr un desarrollo óptimo del sistema radicular (Mora *et al.*, 2002; De los Santos, 2006). El intervalo óptimo de pH va de 5.5 a 7.5 aunque se ha desarrollado en límites de 5.5 a 8.5 (De los Santos, 2006).

El cultivo de mango en los trópicos se produce desde 0 hasta los 600 m.s.n.m.; aunque en México no se le cultiva arriba de los 650 m.s.n.m. La temperatura óptima promedio fluctúa entre los 24°C y 27°C (De los Santos, 2006), con límites inferiores de 4° a 10°C y superiores de 42° a 43°C (Munro, 2005).

Se adapta relativamente bien a condiciones de precipitación anual variable a partir de los 250 mm (con riegos regulares durante el período de secas en el desarrollo del fruto) hasta los 5000 mm (De los Santos, 2006) teniendo un óptimo de 1 000 a 1 500 mm (Mora *et al.*, 2002).

El mango es muy exigente en cuanto a radiación solar para culminar apropiadamente su floración y fructificación, por ello, una buena orientación de la huerta asegura una mejor productividad (De los Santos, 2006).

De esta manera, el desarrollo y crecimiento del mango así como su ciclo fenológico, están controlados fundamentalmente por el clima. Con estaciones bien definidas existe una marcada separación de las fases vegetativa, de latencia y reproductiva; lo cual puede no ocurrir en lugares con estaciones poco diferenciadas (Ramírez y Davenport, 2010).

En términos generales, el cultivo del mango abarca los siguientes periodos: a) fase vegetativa donde se desarrollan las hojas, b) floración, c) fructificación y d) cosecha; aunque los periodos y meses para cada etapa pueden variar dependiendo de la zona geográfica, el tipo de cultivo (temporal, riego o combinado) y el manejo (adelanto o retraso de alguna fase) (Galán-Sauco, 1999).

En las regiones tropicales y subtropicales del hemisferio norte la fase vegetativa abarca aproximadamente los meses de junio a diciembre, la floración de diciembre a marzo, la fructificación de marzo a junio y la cosecha en junio (Galán-Sauco, 1999).

La fase vegetativa comprende el desarrollo foliar y la acumulación de nutrimentos y reservas provenientes del suelo, del agua, de la fotosíntesis o del aire (producto de la apertura de estomas). La iniciación floral se presenta como respuesta a bajas temperaturas (entre 13 y 18°C) y al estrés hídrico, característicos de la temporada invernal, con lo cual se promueve la sustancia inductora de la floración que se sintetiza bajo estas condiciones (Osuna-Enciso *et al.*, 2000).

En la floración se translocan parte de los nutrimentos para la formación de las inflorescencias aptas para la polinización y desarrollo de frutos; no obstante, la formación y desarrollo de los frutos es la fase con mayor demanda de nutrimentos, energía y reservas (Ramírez y Davenport, 2010).

3.3.3 Nutrimientos esenciales

Para el cultivo del mango comúnmente se consideran como macronutrientes esenciales: N, P, K, Ca, Mg y S y como micronutrientes de mayor importancia: Fe, Mn, Cu, Zn y B; en este sentido en la Tabla 8 se presentan sus funciones específicas para el mango así como los problemas presentados a causa de deficiencias y excesos.

Los nutrientes C, O, H, N y S son constituyentes de compuestos orgánicos básicos en el metabolismo del mango y participan activamente en las reacciones bioquímicas del metabolismo. El P participa en todas las reacciones en las que hay intercambio de energía, siendo el compuesto más importante en este aspecto el ATP. Ca, Mg y K regulan los potenciales osmóticos, la permeabilidad de la membrana y la conductividad; además pueden enlazarse con enzimas modificando su estructura. Fe, Mn, Zn y Cu participan principalmente en reacciones de óxido reducción; y el B en funciones estructurales.

Tabla 8. Nutrientes esenciales, deficiencias y excesos para *M. indica*.

Nutriente	Funciones	Síntomas en deficiencia (D) y exceso (E)
N	Forma parte de aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos. Crecimiento vegetativo y desarrollo de yemas florales. Balance con K y P.	D: Hojas pequeñas y clorosis generalizada. E: Aumento en crecimiento vegetativo, descomposición de la parte ventral del fruto y desintegración de la pulpa.
P	Forma parte de ácidos nucleicos, fosfolípidos y ATP. Desarrollo radicular, iniciación floral, longitud de inflorescencias, duración de floración, amarre de frutos y transferencia de carbohidratos a órganos en formación. En relación con N define la producción de yemas florales y el rendimiento.	D: Reducción en crecimiento de plantas jóvenes, reducción de brotes, marchitez, necrosis en la punta de hojas, muerte de ramas, frutos pequeños y ásperos. E: Reducción de frutos.
K	Síntesis de aminoácidos, mantiene la turgencia celular, apertura y cierre de estomas. Mejora color, sabor, tamaño del fruto (metabolismo de carbohidratos). Evita efectos severos por sequías y heladas. Aumenta la resistencia a enfermedades y plagas.	D: Hojas con clorosis intervenal y marginal, necrosis en ápices, muerte de raíces absorbentes, malformaciones en inflorescencias y frutos pequeños. E: Reduce sabor y firmeza al fruto, desbalance con Mg y Ca.
Ca	Rigidez a paredes celulares, activador de enzimas, desarrollo de raíces y del tubo polínico.	D: Desarrollo vegetativo menor, clorosis en hojas jóvenes y ablandamiento de la fruta. E: Desbalances con K y Mg.
Mg	Activador enzimático, forma parte de la clorofila, turgencia celular.	D: Clorosis en bordes de hojas, reducción de crecimiento y defoliación prematura.
S	Forma parte de aminoácidos, proteínas y fosfolípidos; activador enzimático. Aumenta el crecimiento vegetativo y la fructificación. Relación estrecha con N.	D: Clorosis en hojas jóvenes y plantas rígidas y quebradizas.
Fe	Activador enzimático en transporte de electrones de fotosíntesis, respiración y síntesis de proteínas.	D: Defoliación parcial y deformación foliar, clorosis foliar en ápices, necrosis marginal, reducción de fotosíntesis, flores y frutos. E: Desbalance con Mn.

(Recopilación de Larson *et al.*, 1992; Ponchner *et al.*, 1993a, b; Samra y Arora, 1997; Munro, 2005; De los Santos, 2006).

Tabla 8. Continuación.

Nutrimento	Funciones	Síntomas en deficiencia (<i>D</i>) y exceso (<i>E</i>)
Mn	Activador enzimático en fotólisis (fotosíntesis), respiración y síntesis de proteínas.	<i>D</i> : Clorosis en hojas jóvenes, reducción en rendimiento y calidad de frutos. <i>E</i> : Clorosis intervenal, necrosis, desbalance Fe-Ca-Mg.
Cu	Activador enzimático en transporte de electrones de respiración y fotosíntesis.	<i>D</i> : Defoliación y las hojas se tornan muy verdes y grandes.
Zn	Activador enzimático en reacciones de crecimiento celular, metabolismo carbohidratos, proteínas, ácidos nucleicos.	<i>D</i> : Entrenudos cortos y defoliación; hojas pequeñas, cloróticas y quebradizas; inflorescencias pequeñas e irregulares; disminución de rendimiento y calidad de frutos.
B	Formación de paredes celulares, transporte de carbohidratos, germinación del grano de polen, crecimiento del tubo polínico, amarre de frutos, tamaño y peso de frutos.	<i>D</i> : Brotes deficientes y pequeños, reducción del amarre de frutos. <i>E</i> : Crecimiento de panículas.

(Recopilación de Larson *et al.*, 1992; Ponchner *et al.*, 1993a, b; Samra y Arora, 1997; Munro, 2005; De los Santos, 2006).

3.3.4 Estudios de fertilidad y de análisis foliar en *M. indica*

Los estudios de fertilidad en el cultivo de mango en gran medida se han enfocado al análisis foliar y se han establecido intervalos adecuados de concentraciones de nutrimentos foliares para detectar deficiencias o excesos y tomar las medidas correctivas necesarias (Munro, 2005).

Los intervalos de nutrimentos foliares óptimos para el cultivo del mango se presentan en la Tabla 9; como puede observarse, éstos son amplios ya que las concentraciones nutrimentales asociadas con rendimientos óptimos para el cultivo frecuentemente varían de una región a otra, de un año a otro, con el tipo de análisis realizado y con las variedades muestreadas, entre otros factores (Samra y Arora, 1997).

El análisis foliar debe completarse con un estudio de fertilidad del suelo y con prácticas de manejo para obtener mejores resultados al evaluar las relaciones nutrimentales (Samra y Arora, 1997). En este sentido, De los Santos (2006) realizó un análisis edafonutricional de suelos cultivados con mango Ataulfo en el Soconusco, Chiapas, para determinar si los suelos eran apropiados para el cultivo del mango, sin embargo no relacionó los resultados con análisis foliar aunque sí lo hizo con las prácticas de manejo y concluyó que se trataba de suelos aptos para el cultivo del mango, a pesar de tener un manejo deficiente, ya que contaban con un buen drenaje, texturas franco arenosas, pH ligeramente ácido, porcentajes moderados de materia orgánica, nutrimentos en niveles medios y condiciones climáticas adecuadas.

Para la zona de estudio, PUMA (2001) realizaron un diagnóstico ambiental en huertas de mango en los municipios La Unión, Gro. y Lázaro Cárdenas, Mich.; evaluaron propiedades del suelo y concentraciones de nutrimentos edáficos y foliares; aunque los objetivos eran relacionar los resultados obtenidos con el posible efecto de las emisiones producidas por una termoeléctrica localizada en la zona. Concluyeron que todas las huertas estudiadas mostraron deficiencias de B y la mayoría

presentaron deficiencias de Cu y Ca, lo cual coincidió, de manera general, con las deficiencias presentadas en suelo para estos nutrimentos. Este estudio constituye un antecedente útil por realizar métodos similares en la obtención de características edáficas y nutrimentos foliares en la zona.

Tabla 9. Niveles foliares adecuados para el cultivo de mango expresado en % de materia seca y ppm.

Referencia	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	B (ppm)
Smith y Scudder (1951) ^I	1.54	0.05	0.97	0.91	0.26						
Young y Koo (1969)	1.00 - 1.50	0.08- 0.18	0.30- 0.80	2.00- 3.50 ^a 3.00- 5.00 ^b	0.15- 0.40						
Kumar y Nauriyal (1977) ^I	1.00	0.10	0.50	1.50	0.15	0.50					
Guimaraes (1982) ^{II}	1.20- 1.40	0.10- 0.20	1.00- 1.20		0.30- 0.60						
Hiroce (1983) ^{III}	1.20- 1.40	0.10- 0.25	1.00- 1.20		0.30- 0.60						
Reuter & Robinson (1986) ^{III}	1.00- 1.50	0.08- 0.18	0.30- 1.20	3.00- 3.50 ^a 3.50- 5.00 ^b	0.20- 0.40	0.20- 0.40	50- 100	60- 500	20- 150	10-20	70- 200
Biswas <i>et al.</i> (1987) ^I	1.18	0.08	0.52								
Bhargava y Chadha (1988) ^I	1.23	0.06	0.54	1.71	0.91	0.12	171	66	25	12	
Jones <i>et al.</i> (1991) ^{IV}							50- 200	50- 250	20- 200	10-50	25- 150
A&L* (1993) ^{II}						0.15- 0.35					
Tomlinsom y Smith (1998) ^{III}	1.25- 1.50	0.09- 0.11	0.80- 1.00	2.00- 2.80	0.20- 0.35		70- 100	60- 200	20- 100	10-20	30- 100
Mora <i>et al.</i> (2002)	1.00- 1.50	0.10- 0.25	0.30- 1.20	2.00- 3.50 ^a 3.00- 5.00 ^b	0.20- 0.50	0.15- 0.35	50- 200	50- 250	20-50	10-50	25- 100

^a Suelos ácidos, ^b Suelos alcalinos, ^I en Samra y Arora, 1997, ^{II} en Ponchner *et al.* 1993a, ^{III} en Galán-Sauco, 1999, ^{IV} en Ponchner *et al.* 1993b, *A&L Agricultural laboratories, Agronomy Handbook: Plant and Soil Analysis.

IV ZONA DE ESTUDIO

4.1 Ubicación

El área donde se llevó a cabo el estudio se sitúa entre los 17°58´ y 18°05´ de latitud Norte y los 101°55´ y 102°13´ de longitud Oeste, pertenece al municipio La Unión de Isidro Montes de Oca en Guerrero (Fig. 2).

El municipio La Unión de Isidro Montes de Oca tiene una altitud entre 0 y 2000 m.s.n.m. Colinda al Norte con el estado de Michoacán de Ocampo y con el municipio de Coahuayutla de José María Izazaga; al Este con los municipios de Coahuayutla de José María Izazaga y José Azueta; al Sur con el municipio de José Azueta y el Océano Pacífico; al Oeste con el Océano Pacífico y el estado de Michoacán de Ocampo. Ocupa el 2.75% de la superficie del estado, cuenta con 218 localidades y una población total de 25,230 habitantes (INEGI, 2009).

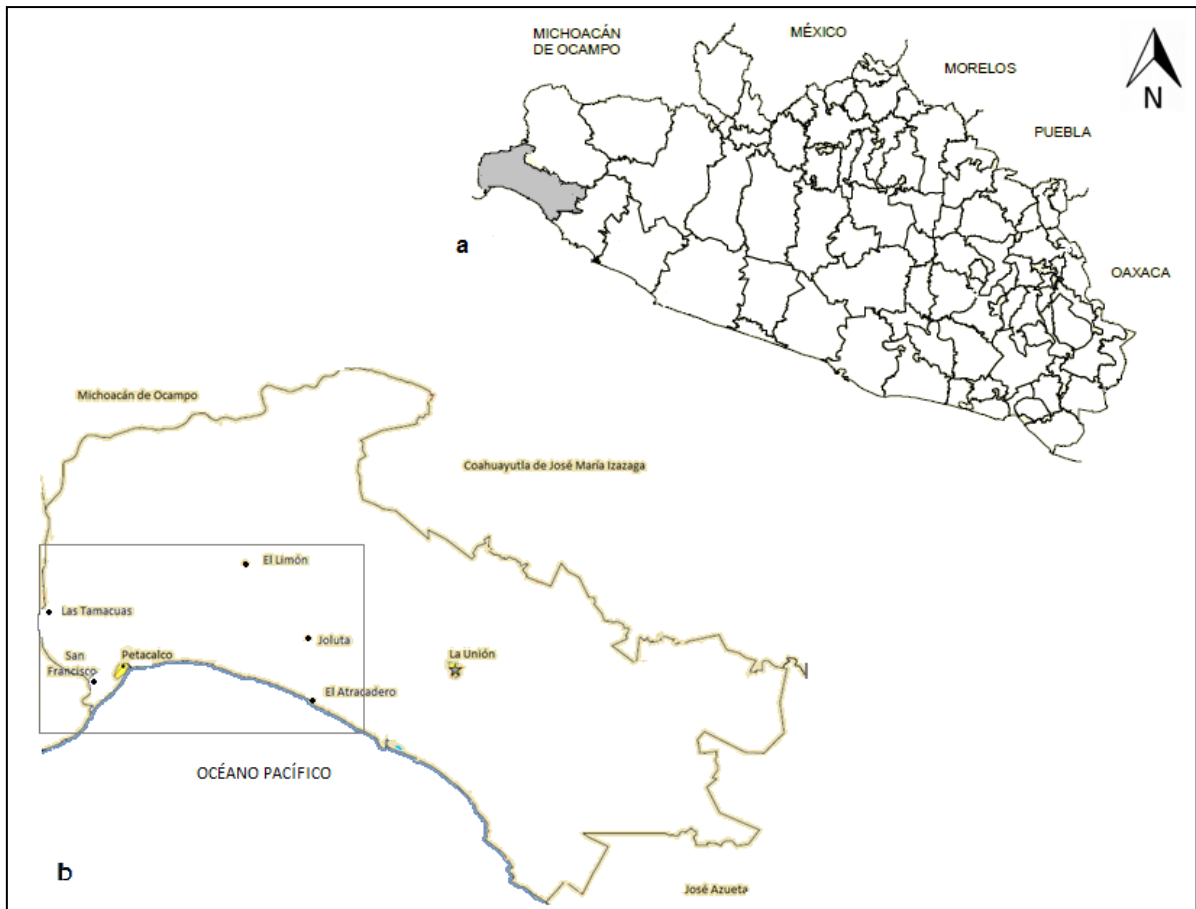


Figura 2. Localización de la zona de estudio. a) Sombreado el municipio La Unión, Guerrero, b) Enmarcada en un recuadro la zona de estudio (Modificado de INEGI, 2009).

4.2 Fisiografía

El municipio pertenece a la provincia de la Sierra Madre del Sur, una cadena montañosa que ocupa la parte meridional de México entre los paralelos 15° 55' y 18° 59' de latitud Norte y los meridianos 95° 50' y 103° 15' de longitud Oeste, desde el estado de Jalisco hasta el Istmo de Tehuantepec en el estado de Oaxaca (Navarro, 1992).

La provincia es un área de gran distorsión ya que tiene una morfología de montañas complejas que han pasado por varios procesos geológicos como compresión, tensión, erosión, sedimentación y vulcanismo a lo largo del tiempo geológico, por lo cual existe un sobrelapamiento de rocas de diferentes edades (Instituto de Ingeniería, 2004) de periodos desde el Cretácico (146 a 65 millones de años) hasta el Cuaternario (1.8 millones de años a la actualidad) (INEGI, 2009).

La provincia de la Sierra Madre del Sur cuenta con dos subprovincias: Costas del Sur con el 59.81% de la superficie municipal y Cordillera Costera del Sur con el 40.19%, ambas con diversos sistemas de topofomas. Para la zona estudiada se presentan topofomas de llanuras costeras y lomeríos (Fig. 3) (INEGI, 2009).

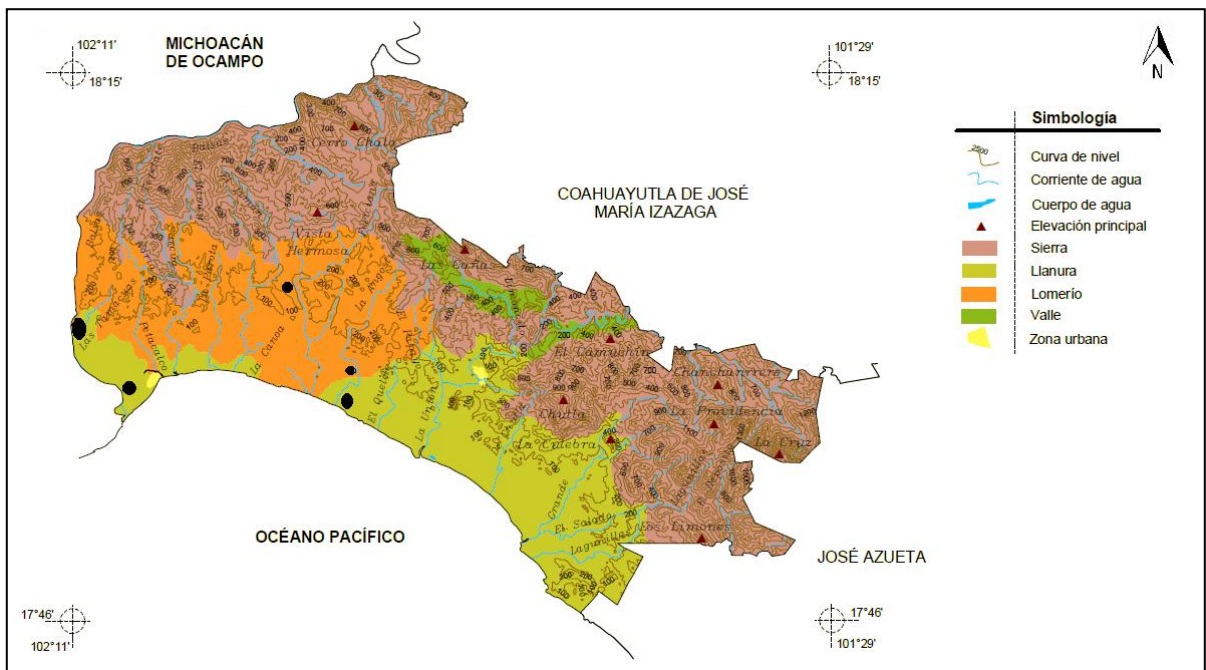


Figura 3. Mapa de topofomas del municipio La Unión. Zona de estudio en puntos negros (Modificado de INEGI, 2009).

4.3 Hidrología

La zona estudiada pertenece a las regiones hidrológicas Costa Grande y Balsas así como a las cuencas Río Ixtapa-otros y Río Balsas-Infiernillo, las cuales cuentan con una gran cantidad de corrientes perennes e intermitentes (INEGI, 2009).

De acuerdo a las cartas topográficas del INEGI (1987, 2000, 2001 y 2007), las corrientes de agua perennes para la región estudiada comprenden el Balsas y Coyuquilla; y las corrientes de agua intermitente son principalmente Joluta, La Angostura, Feliciano, El Limón, El Naranjo, La Barrita, Petacalco, Surcúa, Las Tamacuas, entre otras.

4.4 Clima

La región presenta un tipo de clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad en el Noreste, y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad mediana en el resto de la zona (Fig. 4) (INEGI, 2009). La dirección de los vientos proviene del Sudoeste y la región sufre ocasionalmente el embate de los ciclones (CIBN, 2003).

En consideración a las normales climatológicas de 1971-2000 del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para las estaciones climatológicas con datos suficientes y cercanas a los sitios estudiados (estaciones Vaso la Villita y La Villita para la región Oeste; y La Unión para la región Noreste), el clima que prevalece para el área de estudio, de acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificada por García (2004), es:

Aw'_0 (w) i g/g'.- Cálido subhúmedo con lluvias en verano, presencia de canícula, porcentaje de lluvia invernal menor a 10.2%, isotermal y mes más cálido en junio.

Este tipo de clima es el menos subhúmedo de los cálidos; con una temperatura media anual de 27.1°C (La Unión), 27.8°C (Vaso la Villita y La Villita); precipitación media anual de 947.9 mm (La Unión), 1119.2 mm (Vaso la Villita), 1181.7 mm (La Villita); con lluvias de junio a octubre con una ligera disminución de precipitación en agosto, oscilación térmica de 2.7°C a 2.9°C entre el mes más cálido y el más frío, con el mes más caliente en junio, es decir, en el solsticio de verano y sin afectaciones de lluvia invernal.

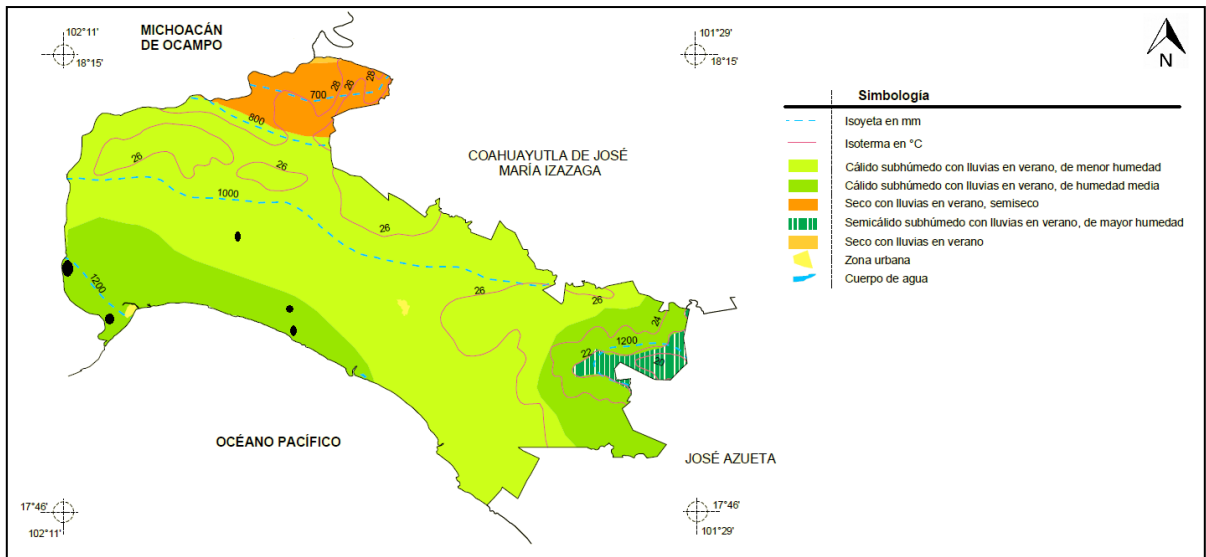


Figura 4. Mapa de climas del municipio La Unión. Zona de estudio en puntos negros (Modificado de INEGI, 2009).

4.5 Edafología

En la zona muestreada los suelos dominantes son: Cambisoles, Regosoles y Fluvisoles para el oeste y Regosoles para el este (Fig. 5) (INEGI, 2009).

De acuerdo a la clasificación de la FAO (2006) los suelos nombrados Cambisoles comprenden suelos con al menos una incipiente formación de suelo subsuperficial. Se caracterizan por una baja acumulación de arcilla, humus, óxidos de hierro y aluminio y sales solubles. Difieren del material parental ya que presentan una estructura agregada, color pardo, incremento en el porcentaje de arcilla y/o carbonatos, que proporcionan evidencia de los procesos de formación del suelo. Son suelos buenos para la agricultura y son usados para este fin de forma intensiva, aunque en zonas tropicales y con condiciones ácidas pueden ser pobres en nutrientes.

Los Fluvisoles son suelos jóvenes que provienen de depósitos aluviales, es decir, de sedimentos de ríos, lacustres o marinos. Presentan perfiles con cierta estratificación con una débil diferenciación de horizontes aunque en algunos casos se puede presentar un claro horizonte superficial. Los fluvisoles son suelos fértiles para los cultivos en suelos secos así como para los cultivos en suelos inundados como el arroz.

Los Regosoles son un grupo que contiene todos los suelos que no pueden ser acomodados en otro tipo de suelos en la clasificación de la FAO. Proviene de materiales no consolidados con un débil desarrollo mineral y por lo tanto son poco profundos, no tienen horizontes con concentraciones altas de materia orgánica o con saturación de bases y pueden ser abundantes en gravas y arenas. Se presentan de manera considerable en zonas erosionadas, particularmente, en zonas áridas, semiáridas y en terrenos montañosos. En las zonas desérticas estos suelos tienen poca relevancia

para la agricultura, no obstante, los que están en depósitos coluviales son utilizados para cultivar algunos granos y árboles frutales.

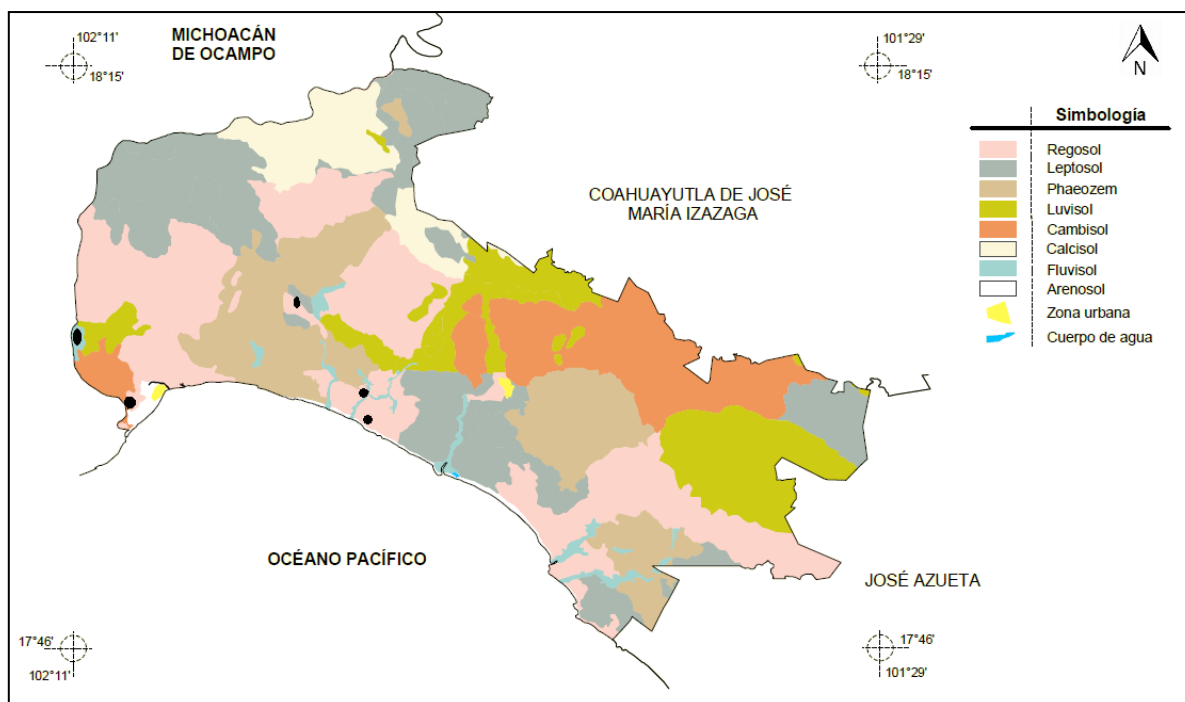


Figura 5. Mapa de tipos de suelos del municipio La Unión. Zona de estudio en puntos negros (Modificado de INEGI, 2009).

4.6 Vegetación

Geográficamente la zona de estudio corresponde al tipo de vegetación conocido como selva baja subcaducifolia (INEGI, 2009); sin embargo, ha sido severamente modificado; se observa una coexistencia entre la selva baja subcaducifolia con palmares, zonas de cultivo y otros tipos de vegetaciones particulares como manglares y acahuales.²

La parte costera analizada se considera totalmente destinada a la agricultura mixta, predominan los cocoteros y huertos de mango, en tanto que la parte norte se encuentra ocupada por agricultura mixta y selva baja subcaducifolia.

² La selva baja subcaducifolia, o bosque tropical subcaducifolio, es un tipo de vegetación que agrupa comunidades vegetales con características intermedias, tanto en su fisonomía como en sus requerimientos climáticos, entre la selva tropical perennifolia y la caducifolia. Cuando menos la mitad de los árboles deja caer sus hojas durante la temporada de sequía, pero hay muchos componentes siempre verdes y otros que sólo se defolian por un periodo corto, a veces, de unas cuantas semanas (Rzedowski, 1978).

Los acahuales son asociaciones vegetales tropicales, que se forman a partir de un disturbio y son un estadio temprano o intermedio en el proceso natural de sucesión vegetal (CIBN, 2003).

Los manglares son formaciones vegetales en las que predominan distintas especies conocidas como mangle; estos árboles o arbustos tienen raíces aéreas respiratorias llamadas neumatóforos y tienen la particularidad de ser plantas resistentes a la salinidad del agua. Se desarrollan en las planicies costeras de los trópicos húmedos, cerca de las desembocaduras de ríos y arroyos o alrededor de esteros y lagunas costeras (CONABIO, 2009).

V MÉTODOS

5.1 Trabajo de campo

Los muestreos se llevaron a cabo a finales de mayo y principio de junio (para suelos y hojas de mango) y de finales de octubre a principios de noviembre de 2009 (para hojas de mango). Se recolectaron muestras en 19 huertas en cuatro localidades de la región, dos del lado oeste de la zona de estudio (San Francisco con seis huertas y Las Tamacuas con cinco huertas) y dos del lado este (Jolota-El Atracadero y El Limón, ambas con cuatro huertas) (Fig. 6).



Figura 6. Zona de muestreo de huertas de *Mangifera indica*. Los números indican la cantidad de huertas analizadas en cada localidad.

5.1.1 Suelos

Para el muestreo en suelos se seleccionaron cinco árboles por huerta, sobre los dos ejes diagonales que cruzan cada huerta, lo más equidistantes posibles y evitando los de la periferia (Fig. 7). Alrededor de cada árbol, con un nucleador de 30 cm, se tomaron 2 submuestras de suelo dentro de la superficie que abarcaba la copa y se vertieron en una cubeta para homogeneizarse y obtener una muestra compuesta (0-30 cm) por huerta. Cercano a cada submuestra de suelos se tomó una muestra inalterada con un cilindro de aluminio de 100 cm³ para estimar la densidad aparente (10 muestras por

huerta). Finalmente, las muestras de suelo se guardaron en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas y se transportaron al laboratorio.

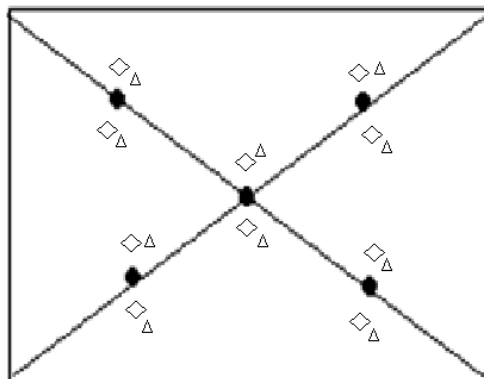


Figura 7. Diagrama del muestreo en cada huerta. El rectángulo representa la huerta, cada punto constituye un árbol de mango, cada rombo representa una submuestra a la altura de la copa del árbol y cada triángulo simboliza una muestra inalterada de suelo.

5.1.2 Hojas

Las hojas se colectaron alrededor de la copa de cada árbol a aproximadamente 2.5 m de altura utilizando una escalera y tijeras para podar. De cada árbol, de manera homogénea, se cortaron 10 hojas de tamaño intermedio, de acuerdo a lo recomendado por la mayoría de los estudios en mango; con lo cual se obtuvo un total de 50 hojas por huerto para completar la muestra compuesta. Las muestras foliares fueron guardadas en papel encerado y posteriormente en bolsas de plástico debidamente etiquetadas, se guardaron en hieleras para su transporte y en el laboratorio se mantuvieron en refrigeración aproximadamente a 5°C.

5.2 Trabajo de laboratorio

Todo el material de plástico y de vidrio utilizado para la preparación y el análisis de las muestras se lavó con detergente libre de fosfatos, se enjuagó con agua de la llave, el material lavado se sumergió aproximadamente durante 12 horas en una disolución de ácido nítrico (HNO_3 , grado técnico) al 10%. Una vez transcurrido este tiempo, se enjuagó el material varias veces con agua destilada y se secó en una estufa.

5.2.1 Suelos

Las muestras compuestas de suelo se secaron a temperatura ambiente sobre charolas, en el cuarto de secado del Instituto de Geología, UNAM. Una vez secas las muestras se homogeneizaron y tamizaron con tamiz de malla de 2 mm para ser utilizadas en la determinación de parámetros físicos y químicos (para una descripción completa de los métodos de suelo ver Anexo 1a).

Parámetros físicos y químicos analizados en suelos

- Densidad aparente.- Las muestras obtenidas con los cilindros de aluminio de 100 cm³ se colocaron en un recipiente de peso conocido dentro de una estufa a 105°C por 24 horas; transcurrido este tiempo las muestras se sacaron de la estufa, se colocaron en un desecador hasta enfriarse y se pesaron en una balanza. La densidad se cuantificó gravimétricamente relacionando el cociente entre el peso obtenido y el volumen del cilindro de muestreo (Blake y Hartge, 1986).
- Textura.- Las muestras se sometieron a un pretratamiento, según sus características para eliminar sustancias cementantes (p. ej. materia orgánica, óxidos amorfos y/o cristalinos y sales solubles) y dispersar las partículas. La textura se obtuvo por el método del hidrómetro (modificado de Bouyoucos, 1936).
- pH.- Se determinó por medio de un potenciómetro usando una relación 1:2.5 de suelo y agua destilada para la acidez real y una relación 1:2.5 de suelo y cloruro de potasio (KCl) 1N para la acidez potencial (Van Reeuwijk, 2002).
- Conductividad eléctrica.- La medición se realizó en el extracto acuoso de suelo con relación 1:2.5 de agua destilada por medio de un conductímetro (Van Reeuwijk, 2002).
- Cationes intercambiables (Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺).- Se procedió a una extracción con acetato de amonio 1N a pH 7; la determinación de Ca²⁺ y Mg²⁺ se realizó por absorción atómica y por flamometría para el K⁺ (Bouwer *et al.*, 1952; Van Reeuwijk, 2002).
- Carbono y Nitrógeno totales.- Las muestras de suelo tamizadas fueron pulverizadas con un mortero de ágata para obtener un polvo más fino y la determinación se realizó por medio de un analizador elemental CNHS/O.
- Relación Carbono/Nitrógeno.- Se determinó a partir de la división del carbono total sobre el nitrógeno total.
- Porcentaje de Materia Orgánica.- El carbono total de las muestras al tener pocos carbonatos fue utilizado como carbono orgánico total y se calculó la materia orgánica multiplicando por el factor 1.724 (Jackson, 1976).
- Fósforo disponible.- Se procedió a una extracción con una solución de fluoruro de amonio (NH₄F) 0.03 N y ácido clorhídrico (HCl) 0.025 N; la determinación se realizó en un espectrofotómetro con el fósforo en forma de complejo de molibdato de amonio usando ácido ascórbico como reductor (Bray y Kurtz, 1945).
- Sulfatos disponibles.- Para la extracción se utilizó bifosfato de calcio hidratado (Ca(H₂PO₄)₂ *H₂O) de acuerdo a Beaton *et al.* (1968) y la determinación se realizó por medio de cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC, por sus siglas en inglés).
- Micronutrientes metálicos disponibles (Fe²⁺, Mn²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺).- La extracción se realizó por medio de una solución a pH 7.3 de ácido dietilentriaminopentacético (DTPA) 0.005M, cloruro de calcio (Ca₂Cl₂*H₂O) 0.01M y trietanolamina (TEA) 0.1M. La cuantificación de los

micronutrientes se realizó por espectrometría de absorción atómica (Lindsay y Norvell, 1978).

- Boro disponible.- Se procedió a una extracción con CaCl_2 0.01M caliente, se destruyó la materia orgánica restante (modificado de Gupta, 1967) y se cuantificó el elemento por medio de espectrometría de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS, por sus siglas en inglés).

5.2.2 Hojas

En el Laboratorio de Análisis Físicos y Químicos del Ambiente (LAFQA) del Instituto de Geografía, UNAM, las muestras compuestas de hojas fueron lavadas con agua desionizada con la finalidad de retirar las partículas presentes sobre el haz y el envés de las hojas. Después se lavaron con HNO_3 al 10% para remover cualquier remanente de partículas que hubiera quedado y finalmente se enjuagaron con agua desionizada.

Las muestras se guardaron en bolsas de papel estraza y se introdujeron a una estufa (VenticeL, modelo 707 Standard) a 75°C por 96 horas para secarlas. Una vez secas las hojas, se trituraron en un molino electrónico de rotor (Pulverisette 14 de velocidad variable), con lo cual se obtuvo un polvo fino de $0.200\ \mu\text{m}$ de tamaño. Las muestras pulverizadas se almacenaron en bolsas de polietileno transparentes previamente etiquetadas para los análisis de cuantificación de nutrientes totales. Todos los análisis se hicieron para ambas salidas excepto el N y B analizados sólo para la primera (para una descripción completa de los métodos foliares ver Anexo 1b).

Métodos utilizados para nutrientes foliares

- N total.- La determinación se realizó por medio de un analizador elemental CNHS/O.
- P, K, S totales.- Las muestras pulverizadas se prensaron a 30 toneladas de presión para formar tabletas con cera-C como agente aglutinante, con una relación de 10:1 de muestra y cera respectivamente. La cuantificación se realizó por fluorescencia de rayos X (FRX).
- Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B totales.- Cada muestra pulverizada requirió una predigestión con 5 ml de ácido nítrico (HNO_3 , 69%), 1 ml de peróxido de hidrógeno (H_2O_2 , 30%) y 0.5 ml de ácido fluorhídrico (HF 48%). Todas las muestras se sometieron a digestión ácida en un horno de microondas (marca CEM modelo MARS-X).

Una vez terminada la digestión, a cada muestra se agregaron 0.5 ml de ácido bórico (H_3BO_3) saturado (excepto para el B) y se completó con agua desionizada para alcanzar un peso de 20 g. Las muestras se filtraron ($0.22\ \mu\text{m}$) y del filtrado se tomó una alícuota de 5 g y se aforó a 50 g con agua desionizada. La determinación de todos los elementos se hizo por medio de ICP-MS excepto el calcio, el cual se analizó por espectrometría de absorción atómica.

5.3 Análisis estadísticos

Se analizaron cuatro localidades en un muestreo para suelo (mayo-junio) y en dos muestreos para hojas (mayo-junio y octubre-noviembre), con variables que se pueden agrupar en dos matrices (suelo y hojas).

Los datos de suelo y hojas fueron procesados con el programa Excel 2007, se eliminaron valores atípicos con la prueba Dixon (a un nivel de significancia $p < 0.05$) y se obtuvo una media por localidad para cada variable. Con la media obtenida se compararon los valores con los reportados en los intervalos de la norma oficial para el suelo y los intervalos óptimos de nutrimentos foliares para las hojas, de tal manera que se determinaron los nutrimentos con deficiencias, en niveles adecuados y en exceso. En los demás análisis estadísticos se utilizó el programa STATISTICA versión 8.0.

Los datos para cada variable se transformaron a su raíz cuadrada ($x' = \sqrt{x+0.5}$) para cumplir con los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas en pruebas paramétricas; la homogeneidad de varianzas se realizó por medio de la prueba de Brown-Forsythe y la normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk.

Para conocer diferencias significativas entre los cuatro sitios de muestreo para cada variable del suelo se implementó el análisis de varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés) de una vía ($p < 0.05$) con pruebas post-hoc (Tukey) para determinar la(s) localidad(es) diferente(s).

Se realizó una prueba U de Mann-Whitney ($p < 0.05$) para determinar diferencias significativas entre épocas muestreadas a nivel foliar. Para conocer diferencias significativas entre los cuatro sitios de muestreo para cada nutrimento foliar se realizaron ANOVAs de una vía (ANOVA Welch para el caso del P debido a heterogeneidad de varianzas) ($p < 0.05$) con pruebas post-hoc (Tukey) para determinar la(s) localidad(es) diferente(s).

Las relaciones entre las variables analizadas al interior de cada matriz fueron hechas por medio de correlaciones lineales utilizando el coeficiente de correlación de Pearson (r) ($p < 0.05$); y con el mismo método se hicieron los análisis de las posibles relaciones entre matrices. Para estas relaciones se utilizaron los datos transformados para cumplir con la distribución normal bivariada.

VI RESULTADOS

6.1 Estado de fertilidad de características edáficas y comparación entre localidades

En la Tabla 10 se presenta para cada localidad estudiada los valores promedio y condiciones en las que se encontraron las características edáficas analizadas y en el Anexo 2a se muestran las referencias consideradas.

Tabla 10. Características edáficas en cuatro localidades del municipio La Unión, Guerrero.

Característica edáfica	Localidades			
	San Francisco	Las Tamacuas	Joluta-El Atracadero	El Limón
C/N	11.13 ± 1.14 (6) adecuada*	10.91 ± 1.92 (5) adecuada*	9.79 ± 1.29 (4) adecuada*	8.76 ± 0.83 (4) adecuada*
materia orgánica (%)	1.84 ± 0.29 (5) medio	2.81 ± 1.22 (5) medio	1.74 ± 0.60 (4) medio	0.90 ± 0.10 (4) bajo
conductividad eléctrica (dS m⁻¹)	0.18 ± 0.07 (6) efectos despreciables de salinidad	0.21 ± 0.07 (5) efectos despreciables de salinidad	0.11 ± 0.03 (4) efectos despreciables de salinidad	0.05 ± 0.00 (4) efectos despreciables de salinidad
pH (H₂O)	6.66 ± 0.06 (5) neutro	6.72 ± 0.37 (5) neutro	6.49 ± 0.19 (4) moderadamente ácido	5.77 ± 0.24 (4) moderadamente ácido
pH KCl	6.12 ± 0.17 (5) moderadamente ácido	6.25 ± 0.20 (4) moderadamente ácido	5.75 ± 0.34 (4) moderadamente ácido	4.92 ± 0.25 (4) fuertemente ácido
% arcillas	13.98 ± 2.73 (6)	15.72 ± 0.50 (4)	15.94 ± 1.65 (4)	7.67 ± 2.37 (4)
% limos	19.74 ± 3.34 (5)	19.62 ± 1.46 (5)	18.53 ± 3.20 (4)	13.77 ± 2.04 (4)
% arenas	66.80 ± 4.15 (5)	65.46 ± 2.26 (5)	67.28 ± 4.62 (4)	78.57 ± 3.52 (4)
textura	franco arenosa	franco arenosa	franco arenosa	arenosa franca
densidad aparente (g cm⁻³)	1.15 ± 0.07 (6)	1.24 ± 0.10 (5)	1.24 ± 0.03 (3)	1.25 ± 0.09 (4)

Media ± desviación estándar (n) y condición de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000; * C/N (Porta *et al.*, 2003).

De acuerdo a los criterios establecidos por la NOM-021-RECNAT-2000, la localidad San Francisco obtuvo niveles adecuados en la relación carbono nitrógeno; el porcentaje de materia orgánica fue medio y cercano a la condición baja; la conductividad eléctrica con efectos despreciables de salinidad; el pH H₂O tuvo valores neutros cercanos al intervalo moderadamente ácido; el pH KCl fue moderadamente ácido; la textura franco arenosa, y presentó una densidad aparente de 1.15 ± 0.07 g cm⁻³ debido a su textura, estructura y contenido medio de materia orgánica.

El sitio Las Tamacuas mostró una relación carbono nitrógeno adecuada; el porcentaje de materia orgánica fue medio; la conductividad eléctrica con efectos despreciables de salinidad; el pH H₂O fue neutro, el pH KCl moderadamente ácido; con textura franco arenosa y una densidad aparente de 1.24 ± 0.10 g cm⁻³ debido a su textura, estructura y contenido medio de materia orgánica.

La localidad Joluta-El Atracadero exhibió una relación carbono nitrógeno adecuada; el porcentaje de materia orgánica fue medio y cercano a la condición baja; la conductividad eléctrica con efectos despreciables de salinidad; el pH H₂O correspondió a la categoría moderadamente ácida y cercano al intervalo neutro; el pH KCl fue moderadamente ácido; la textura franco arenosa y la densidad aparente de 1.24 ± 0.03 g cm⁻³ debido a su textura, estructura y contenido medio de materia orgánica.

El Limón presentó una relación carbono nitrógeno adecuada; el porcentaje de materia orgánica fue bajo; la conductividad eléctrica con efectos despreciables de salinidad; el pH H₂O resultó moderadamente ácido; con pH KCl fuertemente salino aunque cercano al límite moderadamente ácido; con textura arenosa franca y densidad aparente de 1.25 ± 0.09 g cm⁻³ debido a su textura, estructura y bajo porcentaje de materia orgánica.

Todas las localidades analizadas tuvieron características edáficas con valores que reflejaron un estado de fertilidad adecuado para el cultivo del mango, excepto el porcentaje de materia orgánica que para San Francisco, Las Tamacuas y Joluta-El Atracadero tuvo una condición media y para El Limón una condición baja y una acidez potencial con valores muy ácidos.

Se presentaron diferencias significativas (p<0.05) entre la mayoría de las características edáficas y las localidades examinadas (Tabla 11), las diferencias significativas colocaron al sitio El Limón por debajo de las demás localidades para la mayoría de las características edáficas; es decir, como la localidad con un estado de fertilidad inferior a los demás sitios.

Tabla 11. Diferencias entre localidades analizadas y características edáficas del municipio La Unión, Guerrero.

Característica edáfica (vx+0.5)	Estadístico F	Valor de p	Localidades significativas
C/N	F(3,15)= 2.981	0.064853	Tendencia El Limón <
% materia orgánica	F(3,14)= 6.749	0.004802	El Limón <
conductividad eléctrica	F(3,15)= 10.938	0.000462	El Limón <
pH (H ₂ O)	F(3,14)= 13.868	0.000178	El Limón <
pH KCl	F(3,13)= 25.372	0.000010	El Limón <
% arcillas	F(3,14)= 13.913	0.000175	El Limón <
% limos	F(3,14)= 5.248	0.012319	El Limón <
% arenas	F(3,14)= 10.776	0.000620	El Limón >
densidad aparente	F(3,14)= 1.958	0.166725	-

Los valores en negritas muestran diferencias significativas entre localidades para las variables en cuestión. Para un análisis más detallado ver Anexo 2b.

La relación carbono nitrógeno no tuvo diferencias significativas entre localidades; no obstante, se observó una tendencia con valores más bajos en El Limón (Fig.12a); el porcentaje de materia orgánica

presentó diferencias significativas entre las localidades Las Tamacuas y El Limón, con valores menores para este último sitio (Fig.12b).

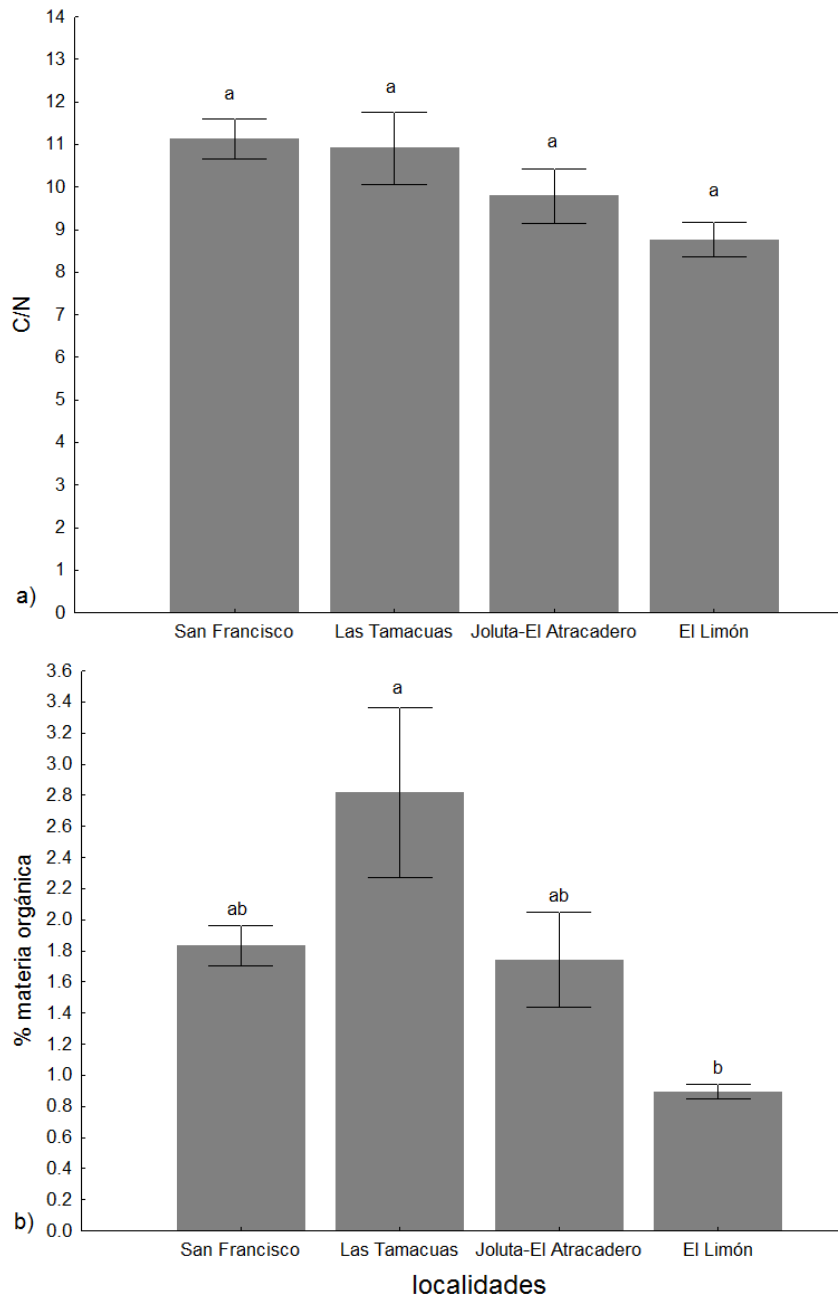


Figura 12. Diferencias entre localidades para las características edáficas C/N y % de materia orgánica. Media \pm 1 e.e., diferencias significativas expresadas en letras.

La conductividad eléctrica presentó diferencias significativas para la localidad El Limón con respecto a San Francisco y Las Tamacuas, situando a El Limón como la localidad con valores

menores (Fig. 13a); en contraste, la densidad aparente fue constante para las cuatro localidades (Fig. 13b).

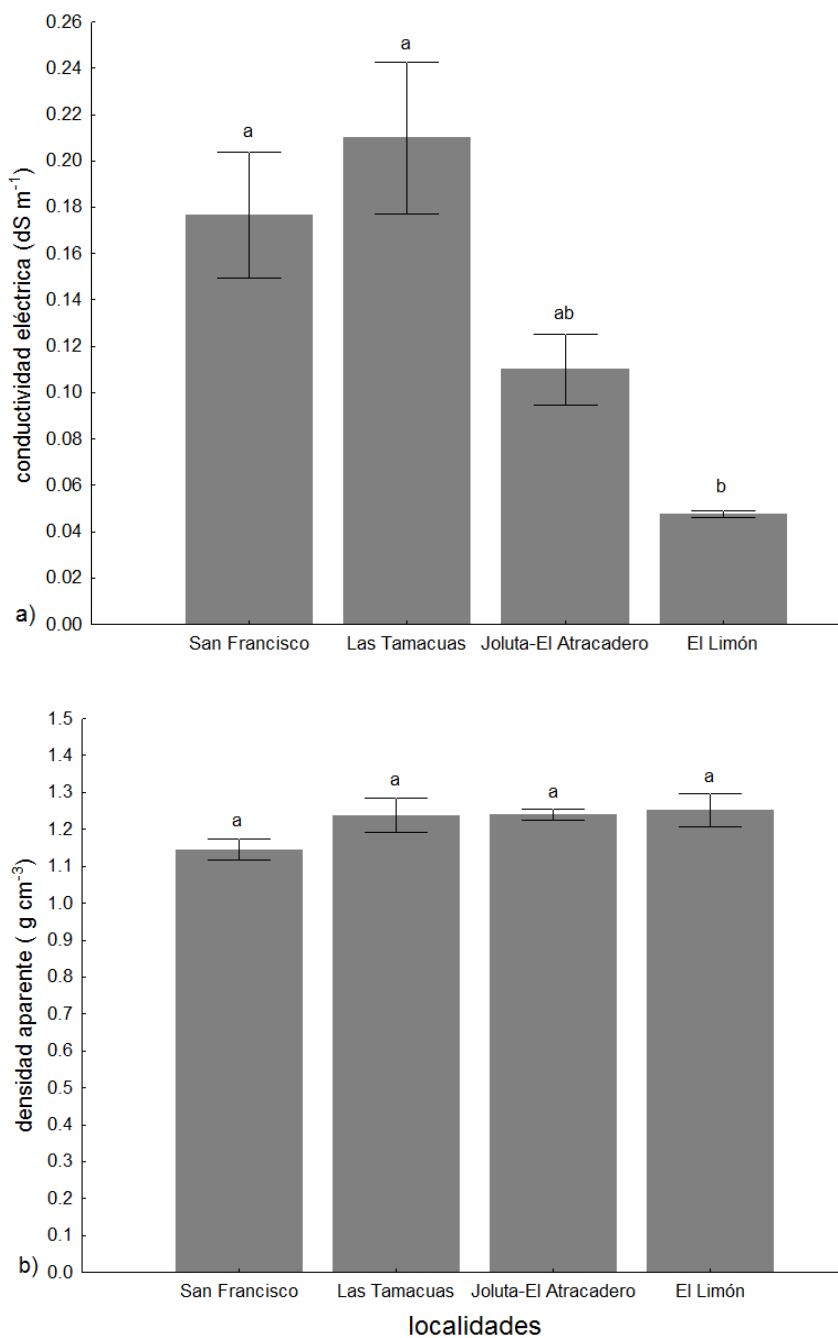


Figura 13. Diferencias entre localidades para las características conductividad eléctrica y densidad aparente. Media \pm 1 e.e., diferencias significativas expresadas en letras.

El pH real (H₂O) y potencial (pH KCl) exhibieron los mismos patrones, con diferencias significativas y valores menores para El Limón con respecto a las demás localidades (Fig. 14a). Las fracciones de partículas del suelo mostraron valores menores y significativos para El Limón con respecto a las

demás localidades para los porcentajes de arcillas y limos, y un aumento significativo en el porcentaje de arenas con respecto a las demás localidades (Fig. 14b).

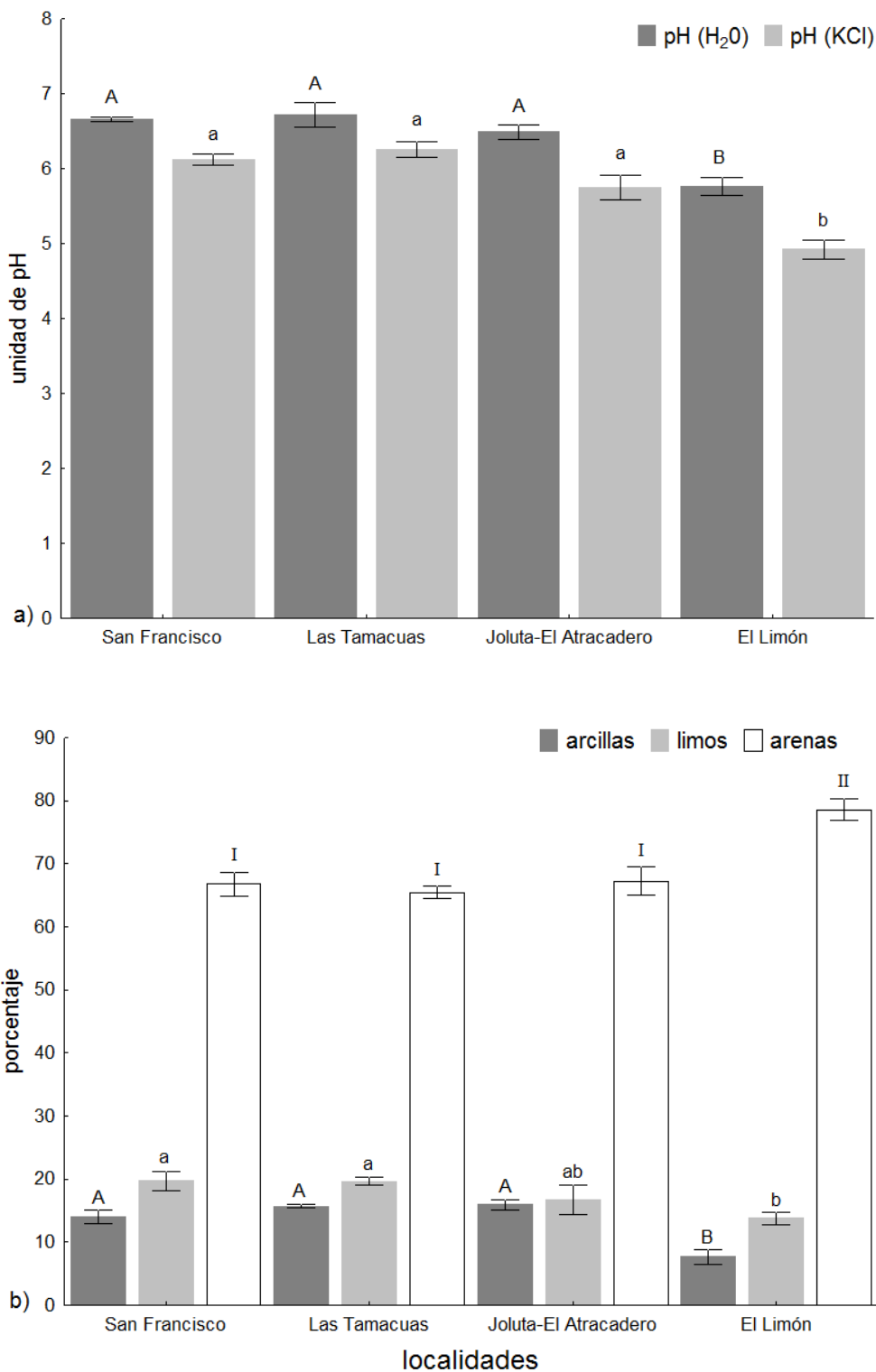


Figura 14. Diferencias entre localidades para las características pH H₂O, pH KCl y porcentajes de arcillas, limos y arenas. Media ± 1 e.e., diferencias significativas expresadas en letras y números romanos.

6.2 Concentraciones de nutrimentos disponibles en suelo y comparación entre localidades

La Tabla 12 muestra los valores promedio para cada nutrimento disponible en el suelo en las cuatro localidades examinadas, la Tabla 13 presenta las condiciones en las que se encontraron cada uno de los nutrimentos disponibles en el suelo por sitio (para simplificar la interpretación se colocaron los nutrimentos y no la forma de absorción) y el Anexo 2a exhibe las referencias consideradas para establecer los estados nutrimentales.

Tabla 12. Nutrimentos disponibles en suelos en cuatro localidades del municipio La Unión, Guerrero.

Nutrimento disponible en suelo	Localidades			
	San Francisco	Las Tamacuas	Joluta-El Atracadero	El Limón
N total %	0.10 ± 0.02 (5)	0.14 ± 0.04 (5)	0.10 ± 0.02 (4)	0.06 ± 0.01 (4)
H ₂ PO ₄ ⁻ mg kg ⁻¹	9.12 ± 6.54 (5)	35.19 ± 22.27 (5)	5.54 ± 2.98 (4)	1.75 ± 0.28 (4)
K ⁺ cmol(+) kg ⁻¹	0.36 ± 0.27 (6)	0.52 ± 0.17 (5)	0.38 ± 0.10 (4)	0.20 ± 0.04 (4)
SO ₄ ²⁻ mg kg ⁻¹	34.37 ± 9.82 (6)	34.60 ± 2.17 (5)	17.19 ± 2.45 (4)	18.56 ± 4.21 (3)
Ca ²⁺ cmol(+) kg ⁻¹	8.47 ± 3.84 (5)	14.56 ± 3.17 (5)	4.50 ± 1.31 (3)	4.54 ± 1.53 (4)
Mg ²⁺ cmol(+) kg ⁻¹	1.93 ± 0.82 (6)	3.16 ± 1.05 (5)	1.04 ± 0.18 (3)	1.10 ± 0.70 (3)
Fe ²⁺ mg kg ⁻¹	31.72 ± 4.65 (5)	46.56 ± 17.36 (5)	20.46 ± 10.94 (4)	39.43 ± 10.35 (4)
Mn ²⁺ mg kg ⁻¹	21.03 ± 8.36 (6)	20.12 ± 3.30 (4)	36.11 ± 13.70 (3)	48.60 ± 1.66 (4)
Zn ²⁺ mg kg ⁻¹	2.55 ± 1.17 (6)	3.98 ± 0.70 (5)	1.35 ± 0.41 (4)	0.60 ± 0.21 (4)
Cu ²⁺ mg kg ⁻¹	2.28 ± 0.79 (6)	4.74 ± 1.64 (5)	1.59 ± 0.13 (3)	0.68 ± 0.39 (3)
H ₃ BO ₃ mg kg ⁻¹	1.27 ± 0.32 (6)	1.02 ± 0.10 (5)	1.23 ± 0.16 (3)	1.16 ± 0.10 (4)

Media ± desviación estándar (n).

Tabla 13. Estado promedio de nutrimentos del suelo respecto a las localidades analizadas en La Unión, Guerrero.

Suelos	San Francisco	Las Tamacuas	Joluta-El Atracadero	El Limón
Bajo	P <i>N</i> K		P,Mg <i>N,Ca</i>	P N,K <i>Ca,Mg,Zn</i>
Adecuado	S,Ca,Mg,Fe,Mn,Zn,Cu,B	N,K,S,Fe,Mn,Zn,Cu,B	K,S,Fe,Mn,Zn,Cu,B	S,Fe,Mn,Cu,B
Alto		<i>P,Mg</i> Ca		

* De acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, excepto S (Sánchez, 1981) y los intervalos altos para Fe, Zn, Cu (Silanpaa, 1982) y Mn (Dominguez, 1997). Los nutrimentos en cursiva se encuentran en los márgenes de los intervalos a los que pertenecen considerando su desviación estándar; los nutrimentos en negrita refieren una condición muy marcada.

El sitio San Francisco presentó niveles bajos de N y P, para el caso del P la deficiencia fue evidente, el N tuvo valores bajos cercanos al límite adecuado; los demás nutrimentos (K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B) se encontraron en intervalos adecuados aunque el K presentó valores cercanos a

la condición baja; de esta manera, la localidad tuvo un estado de fertilidad de nutrimentos edáficos moderadamente adecuado con cierta deficiencia en macronutrimentos.

Para la localidad Las Tamacuas, los nutrimentos N, K, S, Fe, Mn, Zn, Cu y B mostraron valores adecuados y los nutrimentos P, Mg y Ca exhibieron valores altos, aunque el P y el Mg se encontraron cercanos al intervalo adecuado; por lo tanto, el estado de fertilidad se consideró adecuado a pesar de los elementos ligeramente elevados.

Joluta-El Atracadero mostró deficiencias de P, Mg, N y Ca, aunque estos dos últimos nutrimentos se encontraron cercanos al intervalo adecuado; para los demás elementos (K, S, Fe, Mn, Zn, Cu y B) sus concentraciones fueron consideradas idóneas; por lo cual, el sitio obtuvo una fertilidad media a baja con deficiencia de macronutrimentos.

El Limón presentó niveles bajos de P, N, K, Ca, Mg y Zn con una deficiencia evidente de N y K, una marcada deficiencia de P y deficiencias cercanas al límite adecuado para Ca, Mg y Zn; aunque los demás nutrimentos (S, Fe, Mn, Cu y B) tuvieron valores adecuados; por lo tanto, la localidad tuvo una fertilidad de nutrimentos edáficos baja con deficiencia de macronutrimentos.

Se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la mayoría de los nutrimentos edáficos y las localidades consideradas (Tabla 14); algunas diferencias significativas colocaron al sitio Las Tamacuas por encima de las demás localidades, pero para otros nutrimentos, las diferencias significativas ubicaron al sitio El Limón por debajo de las demás zonas de estudio; es decir, las diferencias entre las localidades ubicaron a Las Tamacuas con una fertilidad nutrimental superior a las demás y con una fertilidad inferior para El Limón, lo cual es congruente con los estados de fertilidad planteados.

Tabla 14. Diferencias entre las localidades analizadas y los nutrimentos en suelo.

Nutrimento disponible en suelo ($\sqrt{x+0.5}$)	Estadístico F	Valor de p	Localidades significativas
N	F(3,15)= 7.661	0.002461	El Limón <
H₂PO₄⁻	F(3,15)= 8.003	0.002030	Las Tamacuas >
K⁺	F(3,15)= 2.298	0.119065	-
SO₄²⁻	F(3,13)= 11.111	0.000683	Joluta-El Atracadero y El Limón < San Francisco y Las Tamacuas
Ca²⁺	F(3,14)= 5.242	0.012372	Las Tamacuas >
Mg²⁺	F(3,13)= 6.456	0.006523	Las Tamacuas >
Fe²⁺	F(3,14)= 4.347	0.023144	Las Tamacuas >
Mn²⁺	F(3,13)= 10.778	0.000784	El Limón >
Zn²⁺	F(3,15)= 17.980	0.000031	Las Tamacuas > / El Limón <
Cu²⁺	F(3,13)= 22.758	0.000019	Las Tamacuas > / El Limón <
H₃BO₃	F(3,14)= 1.377	0.290659	-

Los valores en negritas muestran diferencias significativas entre localidades para las variables en cuestión. Para un análisis más detallado ver Anexo 2c.

Para el caso del N, se encontraron diferencias significativas entre El Limón y las localidades de la parte oeste (San Francisco y Las Tamacuas), el Limón se mostró como la localidad con valores más bajos (Fig. 15).

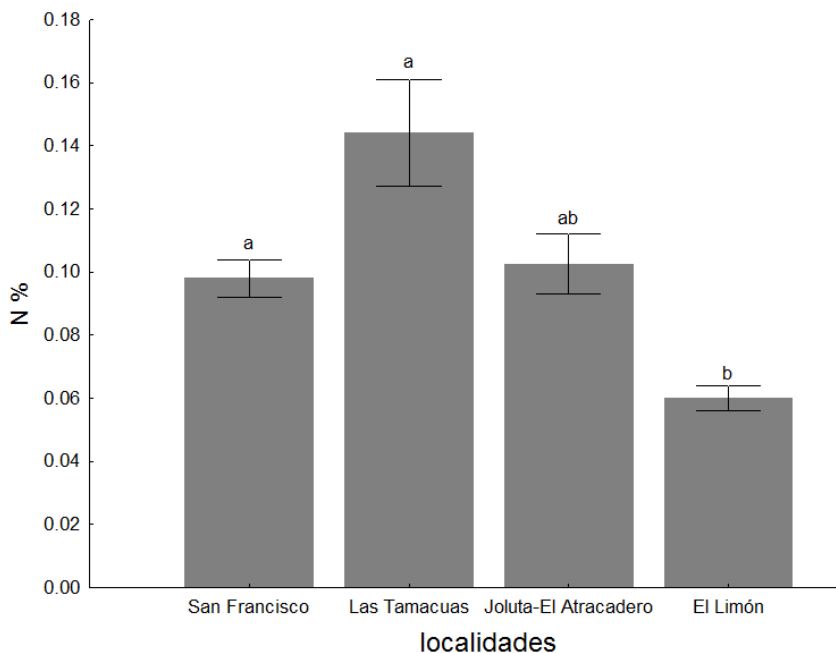


Figura 15. Diferencias entre localidades para el nutrimento N disponible en suelo. Media \pm 1 e.e., diferencias significativas expresadas en letras.

El S tuvo diferencias significativas entre las localidades del oeste (San Francisco y Las Tamacuas) y los sitios del este (Joluta-El Atracadero y El Limón) con valores más bajos para estos últimos (Fig. 16a); el P y el Mg mostraron diferencias significativas entre la localidad Las Tamacuas y las localidades del este (Joluta-El Atracadero y El Limón) con valores mayores para Las Tamacuas (Fig. 16a y 16b); el Ca presentó diferencias significativas entre Las Tamacuas y El Limón con valores más altos para la primera localidad; y el K no presentó ninguna diferencia significativa (Fig. 16b).

El Fe mostró una diferencia significativa entre Las Tamacuas y Joluta-El Atracadero con valores mayores para la primera localidad; el Mn tuvo diferencias significativas entre El Limón y los sitios del oeste (San Francisco y Las Tamacuas) con valores más altos para El Limón (Fig. 17a); el Zn y el Cu presentaron diferencias significativas entre Las Tamacuas y las demás localidades con valores más elevados para Las Tamacuas y valores bajos para El Limón; y el B no mostró tendencia o diferencia significativa (Fig. 17b).

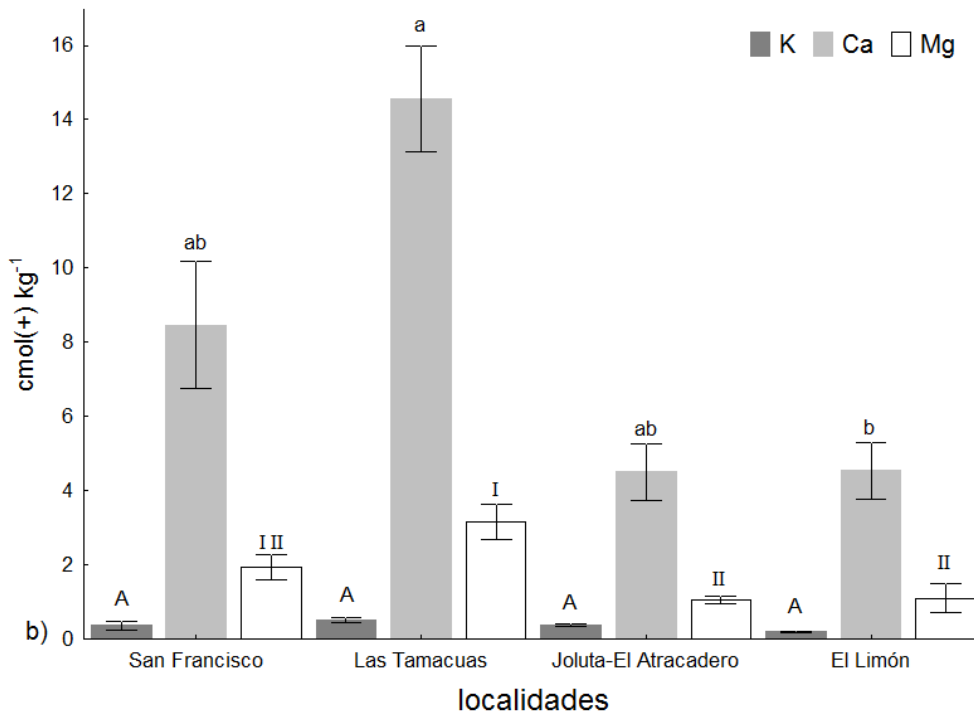
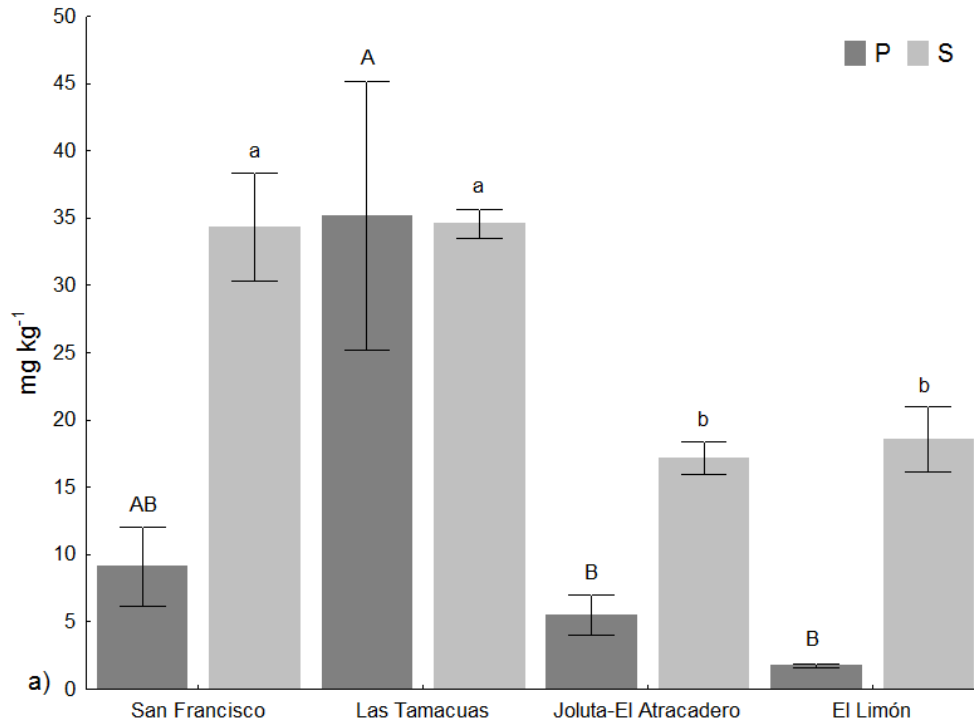


Figura 16. Diferencias entre localidades para los nutrientes P, S, K, Ca y Mg disponibles en suelo. Media \pm 1 e.e., diferencias significativas expresadas en letras y números romanos.

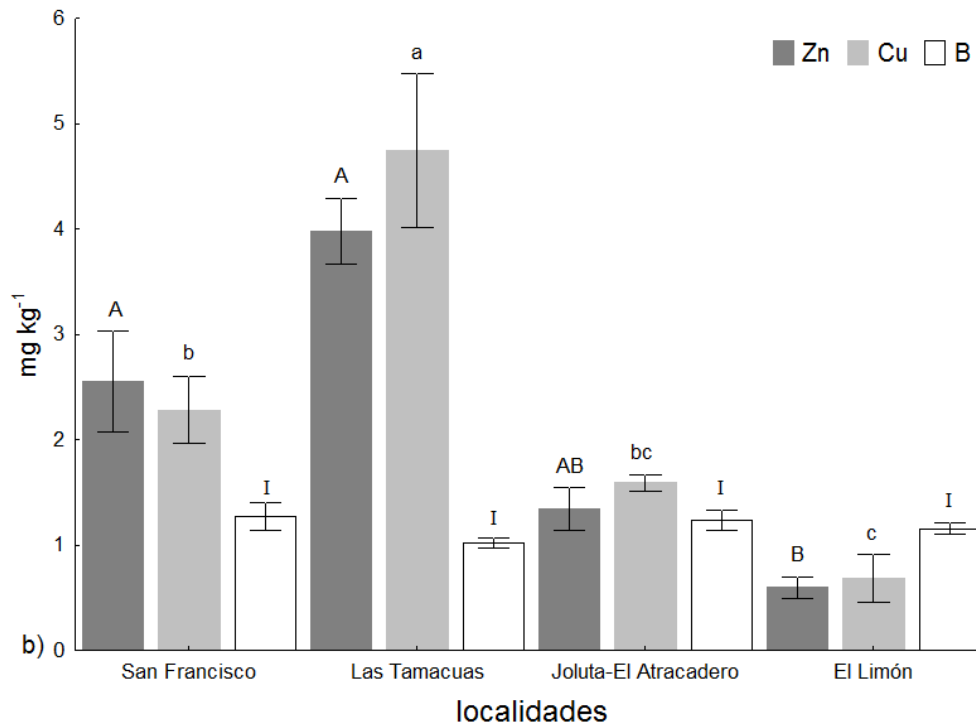
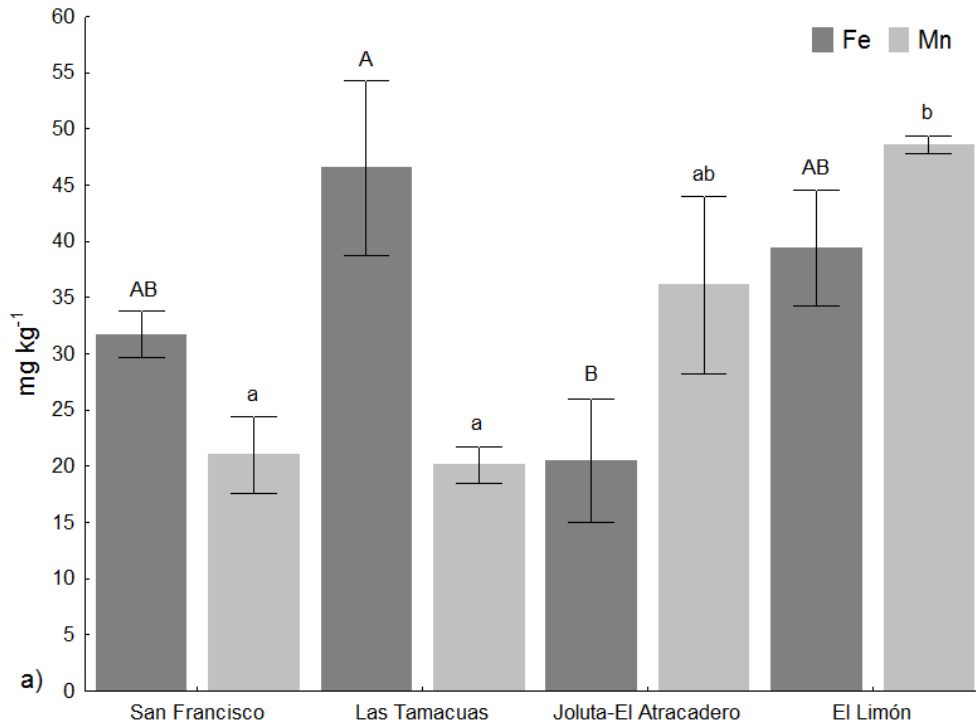


Figura 17. Diferencias entre localidades para los nutrientes Fe, Mn, Zn, Cu y B disponibles en suelo. Media \pm 1 e.e., diferencias significativas expresadas en letras y números romanos.

6.3 Concentraciones de nutrimentos foliares en dos tiempos de muestreo

Los nutrimentos K, Ca, Mg, Fe, Mn, y Zn exhibieron promedios más altos en mayo-junio y los nutrimentos P, S y Cu con mayores concentraciones en octubre-noviembre (Fig. 18a y Fig. 18b); aunque estas diferencias no fueron significativas ni generaron tendencias evidentes, excepto el Fe que fue significativamente mayor en mayo-junio (ver Anexo 2d).

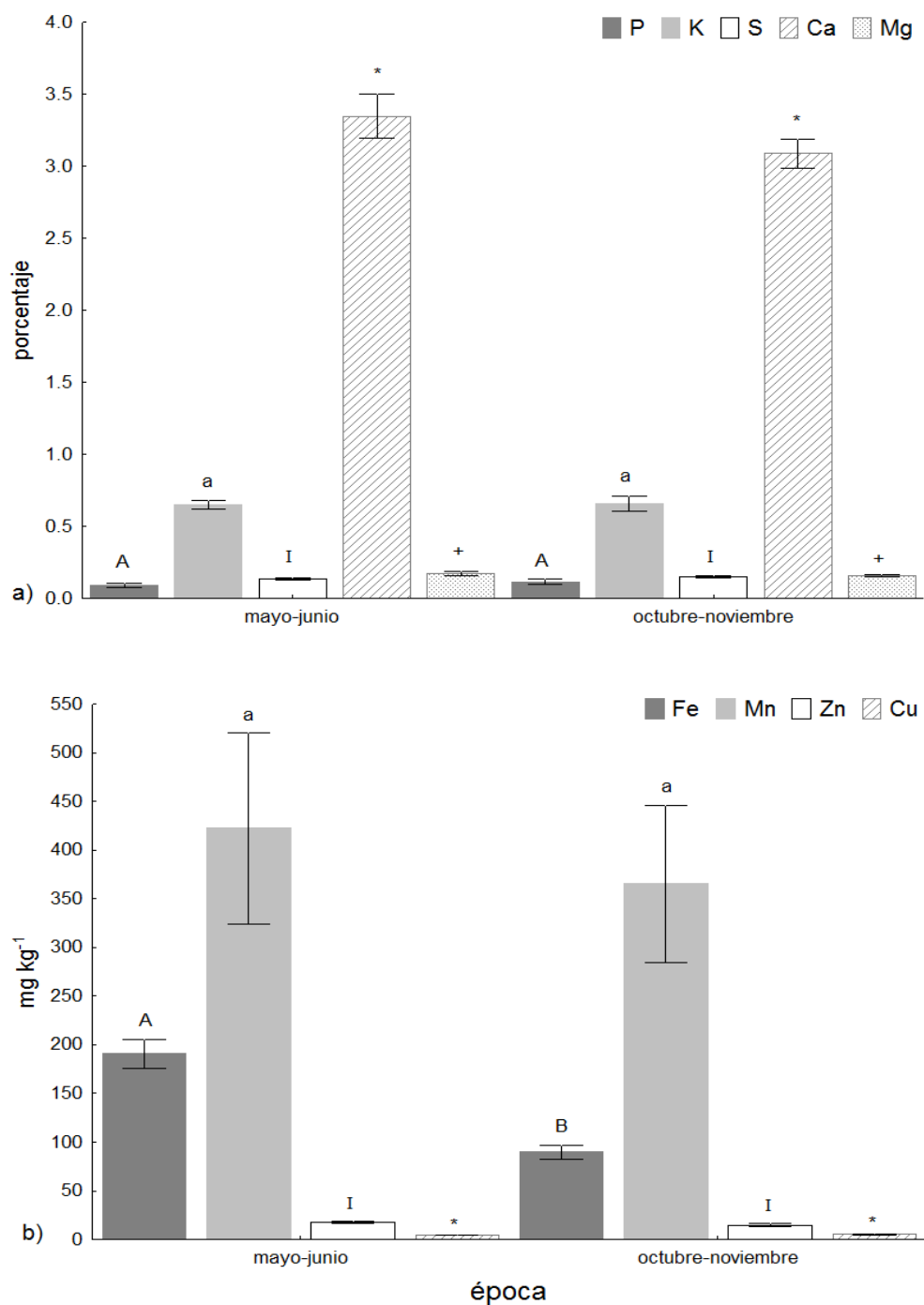


Figura 18. Diferencias entre tiempos de muestreo para el contenido de P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu en hoja. Media \pm 1 e.e., diferencias significativas expresadas en letras, números romanos, asteriscos y cruces.

6.4 Concentraciones de nutrimentos foliares y comparación entre localidades

La Tabla 15 muestra los valores promedio para cada nutrimento foliar en los cuatro sitios examinados (se juntaron los muestreos por falta de diferencias significativas); la Tabla 16 presenta las condiciones en las que se encontraron cada uno de los nutrimentos foliares por localidad (para simplificar la interpretación se colocaron los nutrimentos y no la forma de absorción) y en el Anexo 2e se exhiben los intervalos considerados para establecer los estados nutrimentales.

Tabla 15. Concentración de nutrimentos foliares por localidad.

Hojas	Localidades			
	San Francisco	Las Tamacuas	Joluta-El Atracadero	El Limón
N %	1.19 ± 0.14 (6)	1.21 ± 0.16 (5)	1.33 ± 0.02 (3)	1.23 ± 0.19 (4)
P %	0.09 ± 0.02 (11)	0.17 ± 0.08 (10)	0.08 ± 0.02 (8)	0.04 ± 0.01 (8)
K %	0.70 ± 0.09 (11)	0.67 ± 0.11 (9)	0.65 ± 0.09 (8)	0.44 ± 0.11 (8)
S %	0.16 ± 0.02 (12)	0.16 ± 0.01 (10)	0.12 ± 0.02 (8)	0.12 ± 0.01 (8)
Ca %	3.42 ± 0.46 (12)	3.34 ± 0.77 (10)	3.15 ± 0.56 (8)	2.82 ± 0.21 (8)
Mg %	0.16 ± 0.05 (12)	0.15 ± 0.04 (10)	0.19 ± 0.06 (8)	0.15 ± 0.01 (6)
Fe mg kg⁻¹	198.51 ± 70.67 (12)	118.92 ± 53.59 (10)	84.42 ± 20.76 (6)	103.62 ± 36.82 (7)
Mn mg kg⁻¹	155.45 ± 76.66 (11)	207.56 ± 107.33 (10)	325.85 ± 151.50 (8)	1137.20 ± 228.27 (7)
Zn mg kg⁻¹	20.68 ± 3.41 (12)	12.21 ± 4.21 (10)	17.65 ± 6.15 (8)	13.48 ± 6.04 (8)
Cu mg kg⁻¹	5.52 ± 0.80 (11)	4.10 ± 0.82 (9)	5.28 ± 0.86 (8)	2.84 ± 0.46 (8)
B mg kg⁻¹	83.95 ± 16.72 (6)	77.10 ± 19.83 (5)	59.85 ± 11.98 (3)	40.96 ± 8.29 (4)

Media ± desviación estándar (n).

Tabla 16. Estado promedio de nutrimentos foliares respecto a las localidades analizadas.

*Hojas	San Francisco	Las Tamacuas	Joluta-El Atracadero	El Limón
Bajo	P,Mg,Cu	Mg,Zn,Cu	P,S,Cu <i>Mg,Zn</i>	P,S,Mg,Zn,Cu
Adecuado	<i>S,Zn</i> N,K,Ca,Mn,B <i>Fe</i>	<i>S</i> N,P,K,Ca,Fe,Mn,B	N,K,Ca,Fe,B	N,K,Ca,Fe,B
Alto			Mn	Mn

* De acuerdo a la moda de la Tabla 9 (Anexo 2e). Los nutrimentos en cursiva se encuentran en los márgenes de los intervalos a los que pertenecen considerando su desviación estándar y los nutrimentos en negrita refieren una condición muy marcada.

El sitio San Francisco tuvo concentraciones adecuadas para los nutrimentos N, K, S, Ca, Fe, Mn, Zn y B; aunque el S y el Zn se localizaron próximos al intervalo bajo y el Fe se encontró cerca del intervalo alto; además, los nutrimentos P, Mg y Cu mostraron valores bajos; por lo tanto, la localidad tuvo un estado nutrimental adecuado a bajo por deficiencia de P, Mg y Cu.

La localidad Las Tamacuas presentó valores adecuados para N, P, K, S, Ca, Fe, Mn y B, con el S próximo al intervalo bajo; y los nutrimentos Mg, Zn y Cu con concentraciones bajas; lo cual colocó al sitio con un estado nutrimental adecuado a bajo por deficiencia de Mg, Zn y Cu.

Joluta-El Atracadero y El Limón tuvieron valores adecuados para los nutrimentos N, K, Ca, Fe y B; concentraciones bajas para P, S, Mg, Cu y Zn, y concentraciones altas de Mn; para Joluta-El Atracadero el Mg y el Zn se encontraron cerca del intervalo adecuado; y para El Limón el Mn se encontró en exceso; de esta manera, las localidades tuvieron un estado nutrimental bajo por deficiencia de P, S, Mg, Zn, Cu y niveles altos de Mn.

Se presentaron diferencias significativas entre la mayoría de los nutrimentos foliares y las localidades analizadas (Tabla 17); El Limón presentó concentraciones menores respecto a las demás localidades para P, K, Cu, B y S, este último junto con Joluta-El Atracadero; el sitio Las Tamacuas tuvo concentraciones mayores respecto a los demás sitios para el P y menores concentraciones para el Cu; San Francisco exhibió concentraciones mayores de Fe y Zn; y sin diferencias significativas entre localidades se encontraron el N, el Ca y el Mg.

Las diferencias significativas colocaron a Joluta-El Atracadero y a El Limón (ambas con estado nutrimental bajo) con concentraciones menores para ciertos nutrimentos y a San Francisco y Las Tamacuas (ambas con estado nutrimental adecuado a bajo) con concentraciones mayores para otros nutrimentos; es decir, las diferencias significativas parecen congruentes con los estados nutrimentales planteados.

Tabla 17. Diferencias entre las localidades analizadas y los nutrimentos foliares.

Nutrimentos foliares ($\sqrt{x+0.5}$)	Estadístico F	Valor de p	Localidades significativas
N	F(3,14)= 0.587	0.633500	-
P	F Welch (3,17.59)= 24.455	0.000002	Las Tamacuas > / El Limón <
K	F(3,32)= 12.376	0.000015	El Limón <
S	F(3,34)= 18.376	0.000000	Joluta-El Atracadero y El Limón < San Francisco y Las Tamacuas
Ca	F(3,34)= 2.289	0.096027	Tendencia El Limón <
Mg	F(3,32)= 1.163	0.338891	-
Fe	F(3,31)= 8.336	0.000328	San Francisco >
Mn	F(3,33)= 44.125	0.000000	El Limón >
Zn	F(3,34)= 6.411	0.001466	San Francisco >
Cu	F(3,32)= 25.692	0.000000	Las Tamacuas y El Limón < San Francisco y Joluta-El Atracadero
B	F(3,13)= 13.566	0.000268	El Limón <

Los valores en negritas muestran diferencias significativas entre localidades para las variables en cuestión. Para un análisis más detallado ver Anexo 2f.

El N no mostró diferencias significativas entre localidades ni tendencias evidentes a pesar del ligero aumento en Joluta-El Atracadero (Fig. 19).

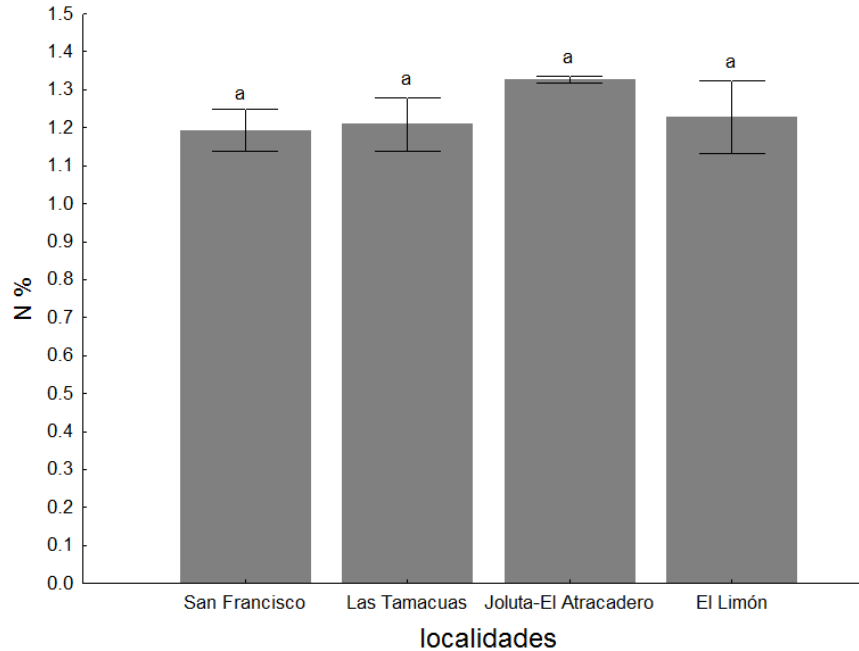


Figura 19. Diferencias entre localidades para el contenido de N en hoja. Media \pm 1 e.e., diferencias significativas expresadas en letras.

El P tuvo diferencias significativas entre Las Tamacuas y las demás localidades, ubicando a este sitio con concentraciones mayores, pero también se obtuvieron diferencias significativas entre El Limón y las localidades San Francisco y Las Tamacuas, con El Limón con concentraciones menores; el S presentó diferencias significativas para Joluta-El Atracadero y para El Limón ubicándolas con cantidades menores que San Francisco y Las Tamacuas; y el Mg no exhibió diferencias significativas ni tendencias relevantes (Fig. 20a).

En el caso del K todas las diferencias significativas ubicaron a El Limón como la localidad con menores concentraciones con respecto a las demás; y el Ca no presentó diferencias significativas entre sitios, pero tuvo una tendencia a ir disminuyendo de localidades del oeste a las del este, lo cual generó una tendencia con niveles bajos para El Limón (Fig. 20b).

El Fe tuvo diferencias significativas entre San Francisco y las demás localidades, ubicando a este sitio con concentraciones mayores; el Mn presentó diferencias significativas entre El Limón y los demás sitios, colocando a esta localidad con concentraciones superiores (Fig. 21a). El Zn mostró diferencias significativas entre San Francisco con respecto a Las Tamacuas y El Limón, con mayores concentraciones para el primer sitio; el Cu tuvo diferencias significativas entre El Limón y las demás localidades, con niveles menores para este sitio; pero también Las Tamacuas mostraron diferencias significativas entre San Francisco y Joluta-El Atracadero con concentraciones menores de Cu para Las Tamacuas (Fig. 21b).

El B presentó diferencias significativas entre El Limón con respecto a San Francisco y Las Tamacuas, colocando al sitio El Limón con concentraciones menores (Fig. 22).

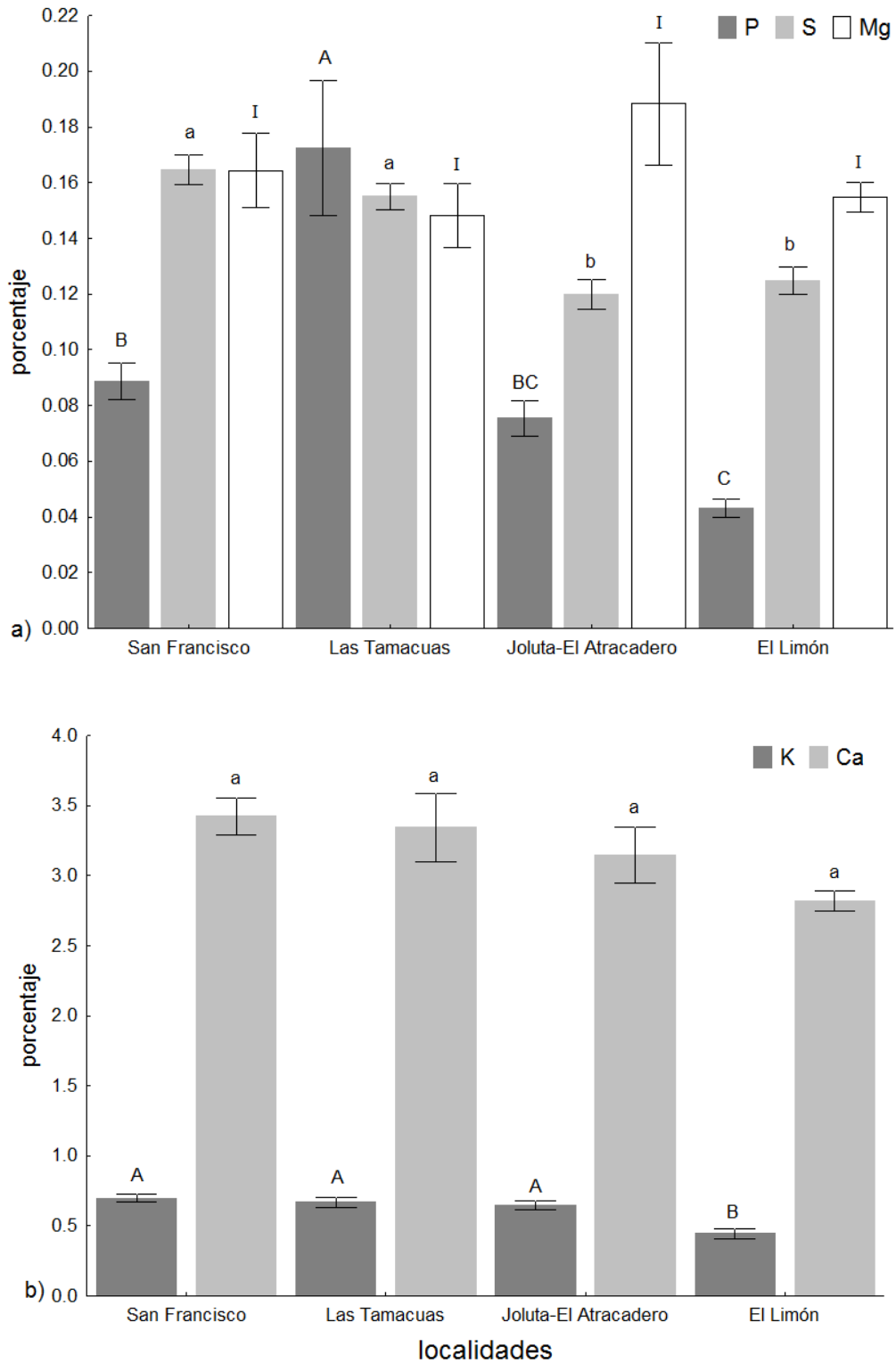


Figura 20. Diferencias entre localidades para el contenido de P, S, Mg, K y Ca en hoja. Media \pm 1 e.e., diferencias significativas expresadas en letras y números romanos.

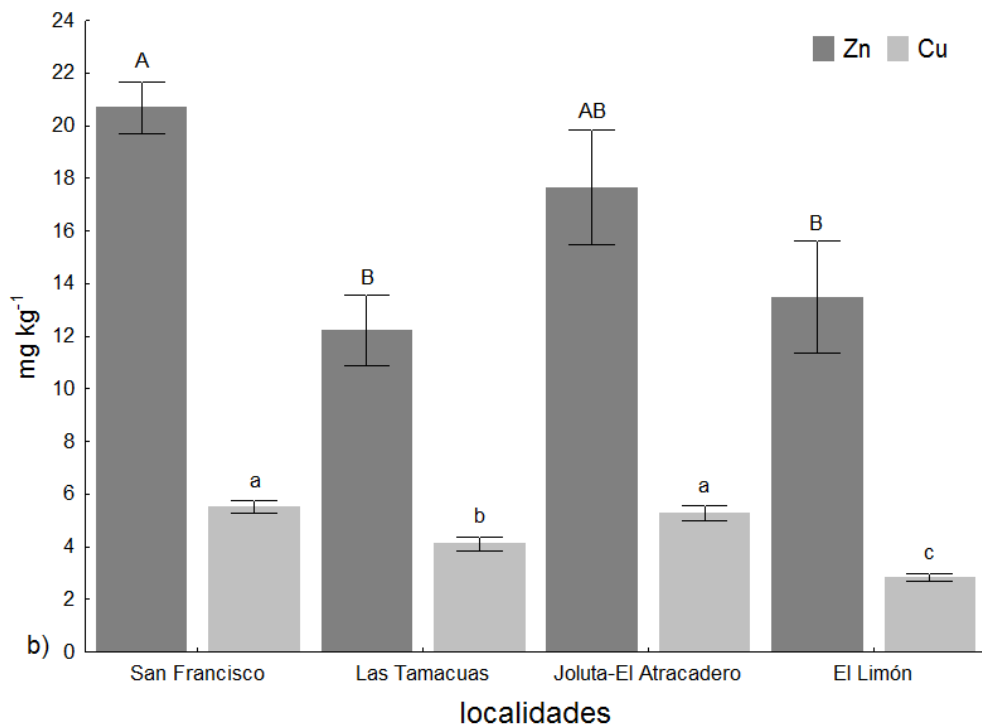
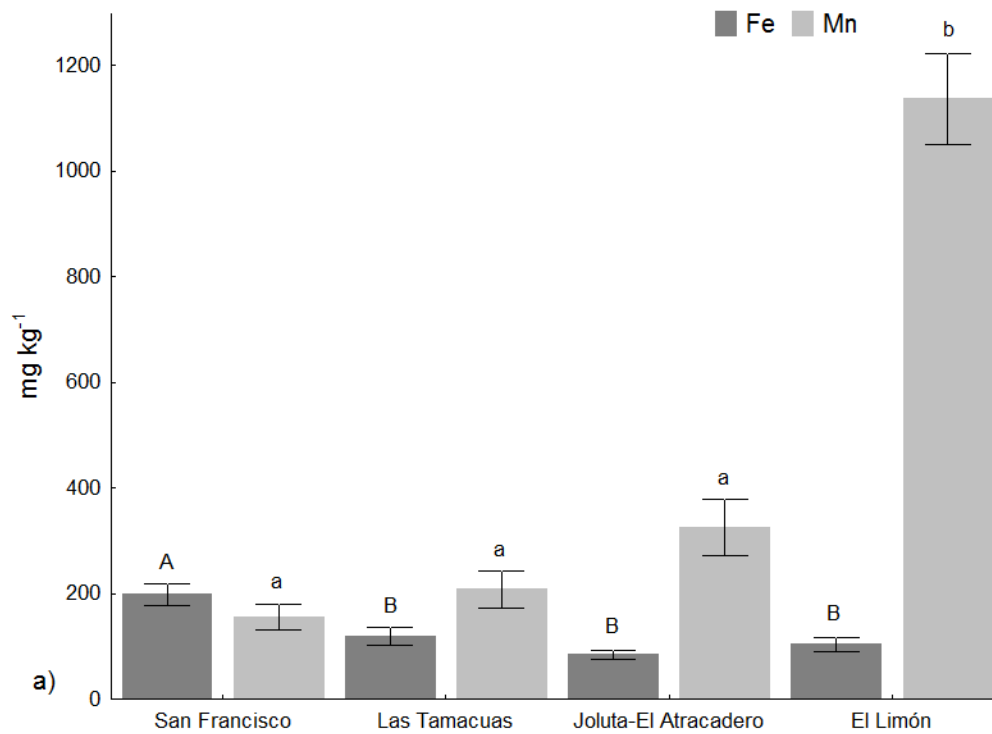


Figura 21. Diferencias entre localidades para el contenido de Fe, Mn, Zn y Cu en hoja. Media \pm 1 e.e., diferencias significativas expresadas en letras.

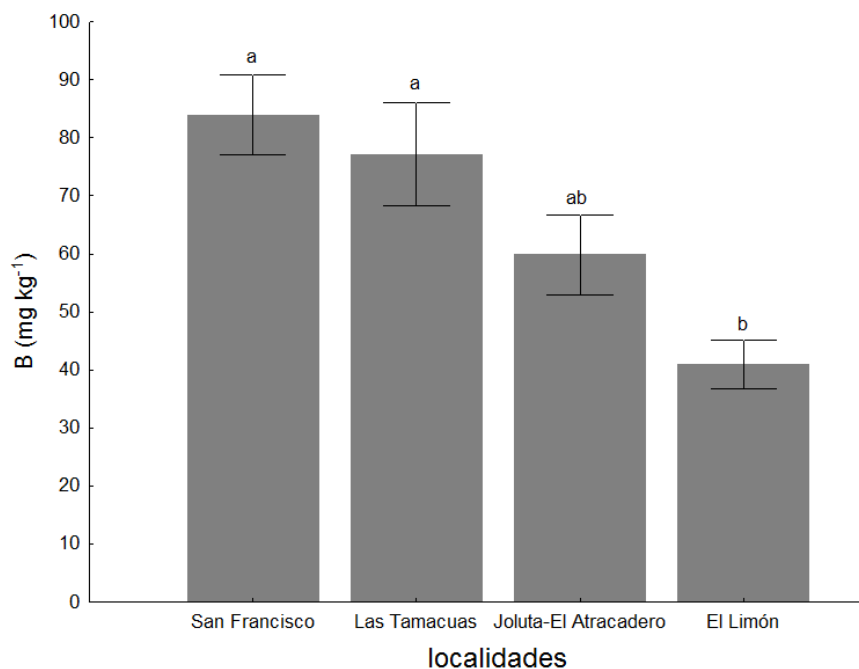


Figura 22. Diferencias entre localidades para el contenido de B en hoja. Media \pm 1 e.e., diferencias significativas expresadas en letras.

6.5 Correlaciones lineales entre características del suelo

Los resultados en la Tabla 18 muestran una relación estrecha y positiva entre las características edáficas analizadas; todas las correlaciones lineales fueron significativas (excepto la relación C/N vs % arcillas) y la correlación porcentaje de materia orgánica vs conductividad eléctrica fue la más contundente (Fig. 23).

Tabla 18. Correlaciones lineales entre características edáficas.

	pH	CE	C/N	% MO	% arcillas
pH	-				
CE	0.86	-			
C/N	0.74	0.84	-		
% MO	0.78	0.91	0.82	-	
% arcillas	0.68	0.69	0.32	0.67	-

Coefficientes de correlación resaltados en gris denotan significancia y los coeficientes en negritas subrayado muestran significancias relevantes.

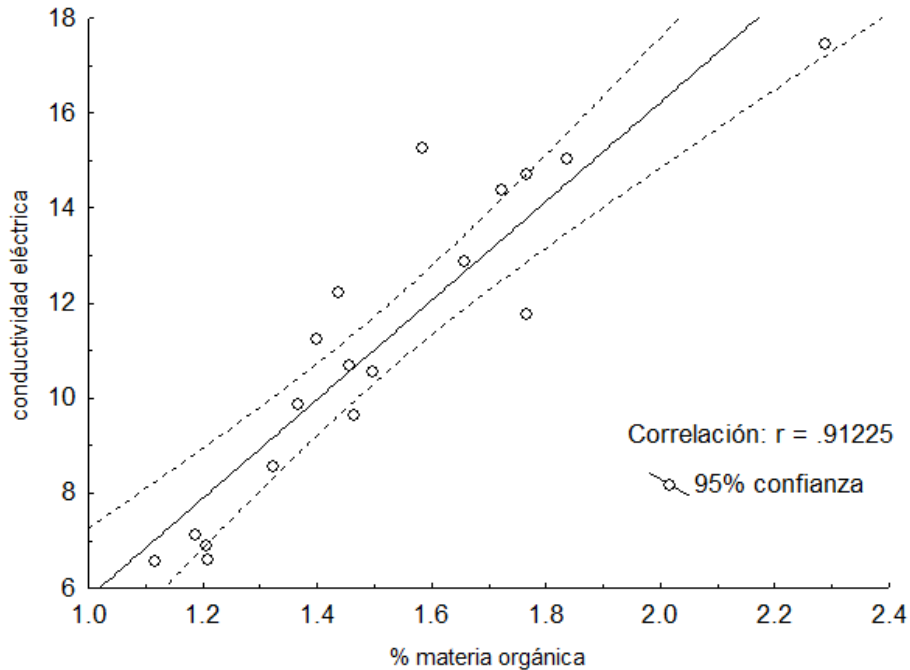


Figura 23. Correlación lineal entre porcentaje de materia orgánica y conductividad eléctrica.

6.6 Correlaciones lineales entre características edáficas y nutrientes del suelo

En la Tabla 19 se observan correlaciones significativas entre todos los nutrientes del suelo (excepto las correlaciones del Fe y el B) con la mayoría de las características edáficas; en lo que respecta al tipo de correlación, todas son positivas excepto las de Mn, las de B y las correlaciones Fe vs pH y Fe vs % arcillas, aunque sólo las correlaciones del Mn resultaron significativas.

El N y el Ca tuvieron correlaciones significativas con todas las características edáficas, resaltando las correlaciones N vs conductividad eléctrica (Fig. 24) y N vs porcentaje de materia orgánica (Fig. 25). El K y el Mg tuvieron correlaciones significativas con todas las características edáficas, excepto la relación C/N. El P se correlacionó significativamente con el pH, la conductividad eléctrica y el porcentaje de materia orgánica. El S sólo correlacionó significativamente con el pH y la conductividad eléctrica. Los micronutrientes Mn, Zn y Cu tuvieron correlaciones significativas con todas las características edáficas analizadas.

Tabla 19. Correlaciones lineales entre características edáficas y nutrientes disponibles en suelo.

	N	P	K	S	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
pH	0.78	0.62	0.52	0.50	0.60	0.52	-0.07	-0.77	0.75	0.70	-0.06
CE	0.90	0.65	0.69	0.72	0.77	0.73	0.23	-0.76	0.82	0.76	-0.27
C/N	0.71	0.40	0.41	0.42	0.57	0.43	0.35	-0.71	0.64	0.56	-0.19
% MO	0.97	0.54	0.54	0.46	0.76	0.62	0.37	-0.61	0.84	0.81	-0.39
% arcillas	0.74	0.46	0.60	0.35	0.58	0.55	-0.32	-0.65	0.54	0.69	-0.09

Coefficientes de correlación resaltados en gris denotan significancia y los coeficientes en negritas subrayado muestran significancias relevantes.

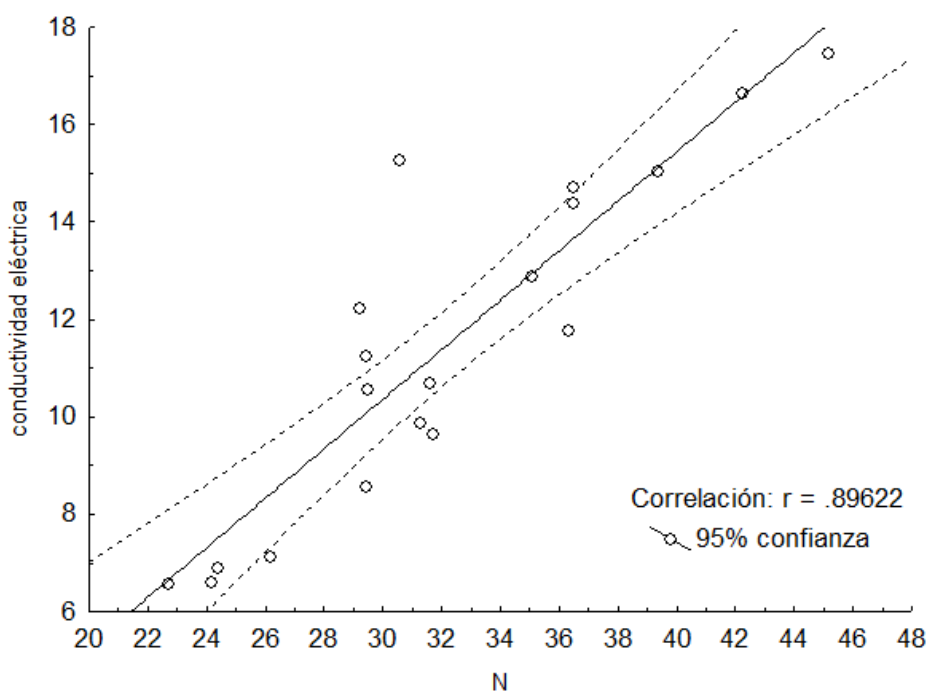


Figura 24. Correlación lineal entre N disponible en suelo y conductividad eléctrica.

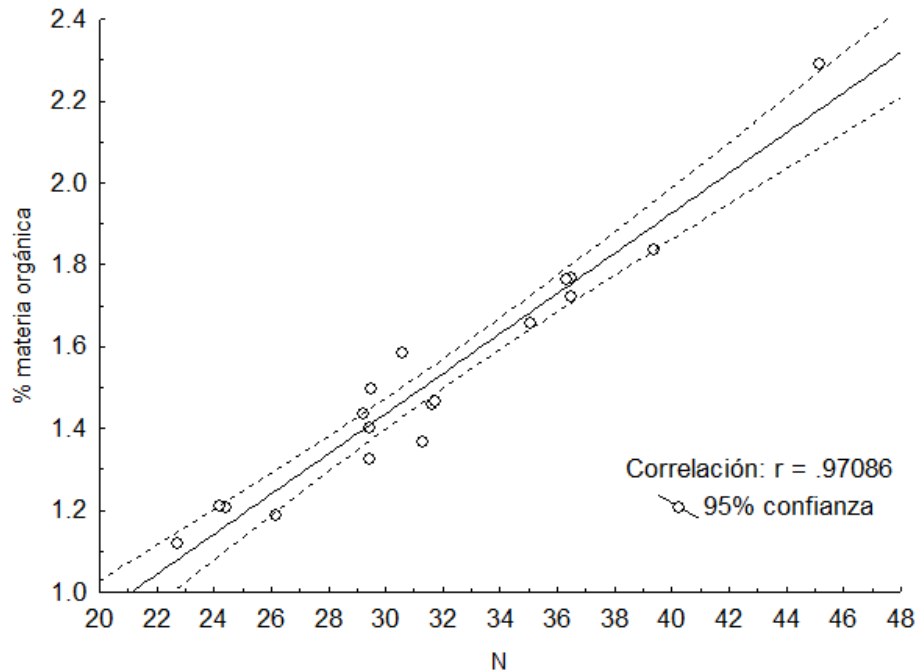


Figura 25. Correlación lineal entre N disponible en suelo y porcentaje de materia orgánica.

6.7 Correlaciones lineales entre nutrientes del suelo

En la Tabla 20 se observa que todos los macronutrientes presentaron correlaciones significativas entre sí, excepto la relación S vs K; no obstante, la correlación más notable se dio entre el Mg y el Ca (Fig. 26); para los micronutrientes, las correlaciones significativas fueron cuatro (Mn vs Zn, Mn vs Cu, Cu vs Zn y Fe vs B); y las correlaciones entre macronutrientes y micronutrientes mostraron valores significativos entre todos los macronutrientes y Mn, Zn y Cu (excepto la correlación P vs Mn).

El Mn y el B fueron los únicos nutrientes con correlaciones negativas, el Mn con siete correlaciones significativas (Mn vs N, Mn vs K, Mn vs S, Mn vs Ca, Mn vs Mg, Mn vs Zn y Mn vs Cu) y el B con correlaciones bajas y una significativa con el Fe; el B y el Fe fueron los únicos nutrientes sin correlaciones significativas excepto la de ambos elementos.

Tabla 20. Correlaciones lineales entre nutrientes edáficos.

	N	P	K	S	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
N	-										
P	0.65	-									
K	0.65	0.63	-								
S	0.59	0.59	0.30	-							
Ca	0.83	0.70	0.62	0.52	-						
Mg	0.71	0.61	0.58	0.71	0.94	-					
Fe	0.24	0.20	0.00	0.38	0.31	0.22	-				
Mn	-0.58	-0.46	-0.50	-0.58	-0.67	-0.63	-0.13	-			
Zn	0.85	0.80	0.56	0.59	0.74	0.62	0.34	-0.58	-		
Cu	0.77	0.66	0.60	0.60	0.67	0.61	0.38	-0.74	0.85	-	
B	-0.21	-0.20	-0.46	-0.03	-0.42	-0.38	-0.54	0.11	-0.30	-0.33	-

Coefficientes de correlación resaltados en gris denotan significancia y los coeficientes en negritas subrayado muestran significancias relevantes.

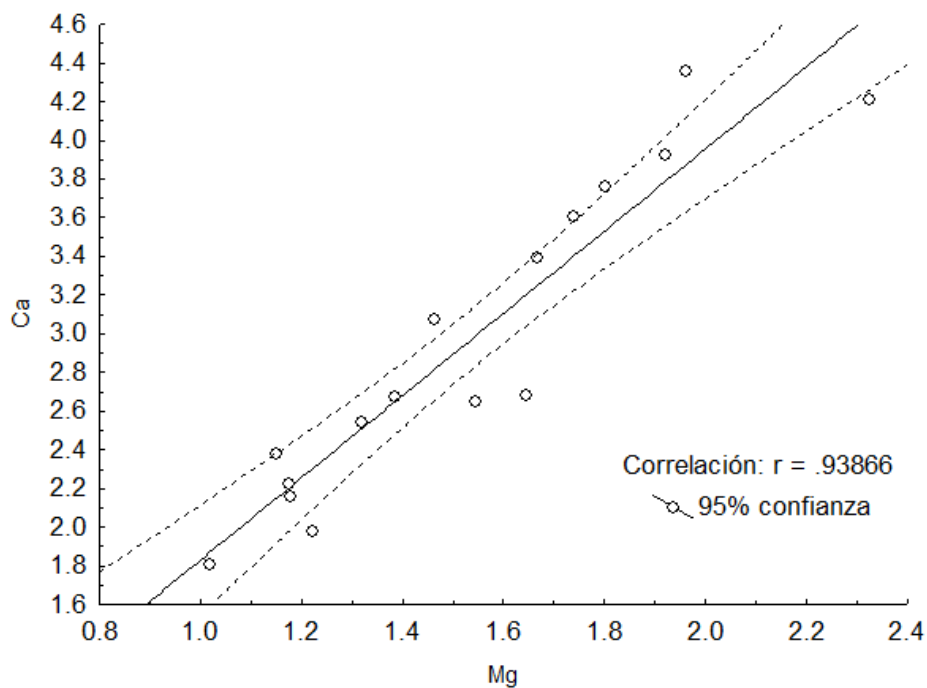


Figura 26. Correlación lineal entre Mg y Ca disponibles en suelo.

6.8 Correlaciones lineales entre nutrientes en suelo y en hojas

Las relaciones entre nutrientes disponibles en el suelo y las concentraciones totales foliares (Tabla 21) proporcionaron pocas correlaciones significativas (P, S, Ca y Mn) aunque la correlación del P fue la más contundente (Fig. 27).

Tabla 21. Correlaciones lineales de nutrientes disponibles en suelo vs nutrientes foliares.

Nutriente suelo vs hojas	N	P	K	S	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Coefficiente de correlación (r)	-0.24	0.97	0.33	0.72	0.54	-0.40	0.06	0.84	-0.07	0.22	-0.12

Coefficientes de correlación resaltados en gris denotan significancia y los coeficientes en negritas subrayados muestran significancias relevantes.

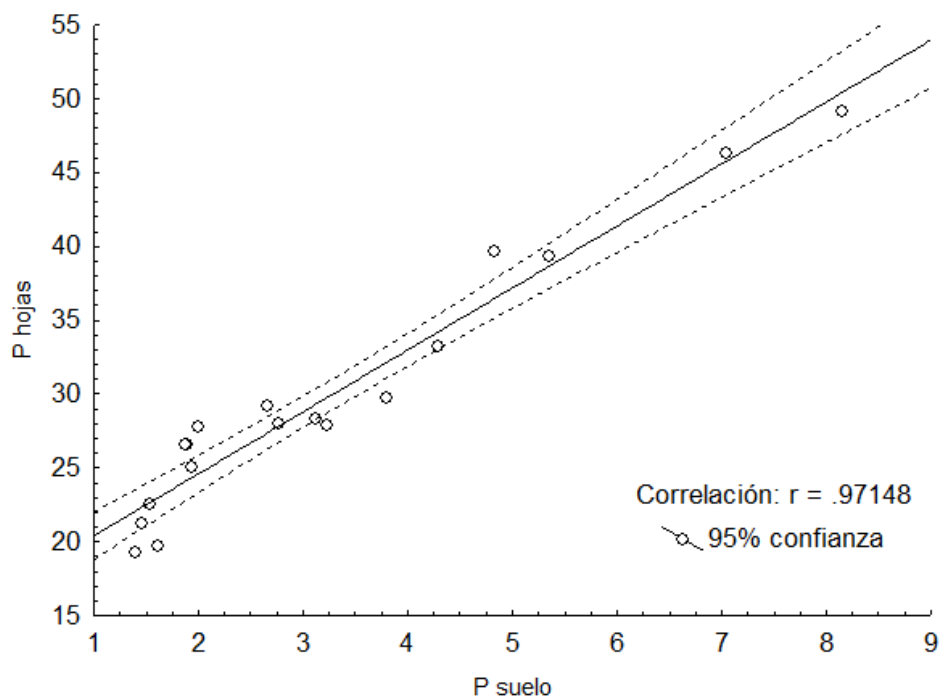


Figura 27. Correlación lineal entre P en suelo y P en hojas.

VII DISCUSIÓN

7.1 Estado de fertilidad de características edáficas y comparación entre localidades

Las características edáficas permitieron identificar diferencias claras entre las cuatro localidades y que se reflejan en los estados de fertilidad.

Los sitios analizados tuvieron valores adecuados para los sistemas agrícolas en la relación C/N; es decir, en las huertas se liberó más N de la materia orgánica del que fue incorporado a los microorganismos para su metabolismo (Troeh y Thompson, 1993; Porta *et al.*, 2003).

El porcentaje de materia orgánica fue medio para todos los sitios menos para El Limón que obtuvo valores bajos; y si consideramos que esta medida es un buen indicador de la fertilidad del suelo por intervenir en muchos procesos físicos, químicos y biológicos (Porta *et al.*, 2003; Manlay *et al.*, 2007; Brady y Weil, 2008) podríamos decir que la fertilidad disminuye con porcentajes bajos de materia orgánica a pesar de tener otras características edáficas favorables para el cultivo, ya que el mango necesita de suelos fértiles para un desarrollo óptimo del sistema radicular (Mora *et al.*, 2002; De los Santos, 2006).

Se conoce poco sobre la tolerancia del mango a la salinidad, se le considera como una planta sensible ya que en estas condiciones reduce su crecimiento foliar y en casos extremos podría promover su muerte (Sergent, 1999) debido a que favorece la pérdida de agua en las células radiculares y genera una contracción de éstas (Wild, 1973); los resultados no mostraron riesgos por salinidad que afectara el desarrollo del cultivo en ninguna localidad analizada.

El pH fue adecuado para todas las localidades, ya que en los intervalos neutro y moderadamente ácido, la mayoría de los nutrimentos se encuentran en su máxima disponibilidad (USDA, 1998) y para el caso específico del mango, los valores entre 5.5 y 7.5 son idóneos (De los Santos, 2006). Los resultados de pH KCl con valores por debajo del pH en agua (alrededor de media unidad) reflejaron en cierta medida el poder amortiguador de estos suelos, es decir, las localidades tenían una resistencia moderada a modificaciones de su pH; sin embargo, esta resistencia disminuye si el sitio tiende a alcalinizarse o acidificarse de manera considerable (Brady y Weil, 2008), como podría ser el caso en El Limón.

El cultivo de mango no es muy exigente en cuanto a la textura y se puede establecer en sitios limosos o arenosos (Munro, 2005; De los Santos, 2006); sin embargo, se han obtenido mejores cultivos en suelos franco arenosos o franco arcillosos que presentan una buena estructura, con una adecuada aireación, un flujo de agua apropiado y una correcta penetración radicular (Sergent, 1999). Todas las localidades analizadas presentaron una textura adecuada para el cultivo (franco arenosa), excepto El Limón (arenosa franca); por lo tanto, esta localidad obtuvo un potencial de fertilidad menor que las demás localidades ya que en texturas arenosas la retención del agua disminuye, es más fácil el lavado de nutrimentos y hay poca acumulación de materia orgánica (Millar *et al.*, 1965).

Los resultados en la densidad aparente fueron bajos por su textura, estructura y porcentajes medios a bajos de materia orgánica para todas las localidades, lo cual permite inferir una baja compactación del suelo, que genera mayor espacio disponible para el movimiento del agua y el aire (Brady y Weil, 2008).

Comparando los resultados obtenidos con los de un trabajo similar (PUMA, 2001) realizado en el 2000 (Anexo 3c), se observaron coincidencias en los resultados promedio de C/N y conductividad eléctrica; sin embargo, los porcentajes de materia orgánica fueron inferiores a los encontrados en el 2001, lo cual se podría deber a las incorporaciones de huertas no analizadas en las mismas localidades, a la variación en los métodos usados, o a una verdadera disminución del porcentaje de materia orgánica en el sistema de cultivo de esta zona.

De manera similar, los valores de pH y pH KCl fueron ligeramente inferiores en el presente estudio con respecto a los reportados en el 2001, es decir, hasta media unidad por debajo en todas las localidades excepto en El Limón en donde se encontró aproximadamente una unidad por debajo. Por lo tanto, estos resultados apuntan a una acidificación en las localidades analizadas y/o a las incorporaciones de otras huertas en el 2001 y no evaluadas en el presente estudio.

En caso de presentar niveles bajos de pH a causa de una acidificación inducida, resulta importante señalar como posible causa parcial a las emisiones de una central termoeléctrica que opera desde 1992 en la localidad de Petacalco, muy cerca de San Francisco, en la que se genera electricidad por medio de la quema de carbón y combustóleo, los cuales forman emisiones de dióxido de azufre (SO_2), óxidos nitrosos (NO_x) y cenizas con metales pesados. El dióxido de azufre y los óxidos nitrosos son precursores de depositaciones ácidas, por lo cual, un exceso de estos compuestos podrían acidificar el suelo y agravar el balance de nutrientes así como el desarrollo del mango (PUMA, 2001). De manera similar, las cenizas del combustóleo en esta zona presentaron pH muy ácidos de 2 a 3 (PUMA, 2009) lo cual también podrían acidificar los suelos de las huertas al depositarse en su superficie.

En este sentido, los estudios realizados por PUMA (2001 y 2009) señalan que San Francisco y Las Tamacuas, entre otras localidades a un radio de 10 km de la termoeléctrica, presentan mayor afectación de cenizas de carbón y de combustóleo. Por lo tanto, es posible que la ligera disminución de pH en San Francisco y Las Tamacuas sea en parte por el efecto de la termoeléctrica, y en el caso de Joluta-El Atracadero y El Limón se debe en mayor medida a las características de sus suelos y de manera complementaria por el efecto de las emisiones.

Las texturas obtenidas fueron ligeramente más arenosas que en el 2001 probablemente por la diferencia en su determinación en laboratorio y en campo. Del mismo modo, la densidad aparente fue menor a la encontrada en 2001; sin embargo, para ambos periodos de estudio, este tipo de densidad presenta una capacidad media de aireación (Domínguez, 1997) lo cual parece adecuado para el cultivo del mango de acuerdo a Sergent (1999).

Casi todas las características edáficas mostraron resultados inferiores y significativamente diferentes para El Limón debido a la naturaleza de su suelo arenoso franco con niveles bajos de pH y

de materia orgánica; en este sentido, PUMA (2001) también obtuvieron valores inferiores en El Limón con respecto a las demás localidades para estas características.

La textura arenosa franca tiene una estructura menos estable lo cual se relaciona con un bajo porcentaje de materia orgánica que no permite en estos suelos una mejor formación y estabilización de agregados así como una disminución en el poder amortiguador del pH (Porta *et al.*, 2003).

La baja conductividad eléctrica en El Limón podría relacionarse con su textura arenosa, poca materia orgánica y niveles bajos de pH; estos suelos tienen una menor retención de agua y una mayor pérdida de iones presentes en la solución del suelo (Porta *et al.*, 2003); no obstante, la importancia de la medición de la conductividad eléctrica se relaciona con la salinidad que pudiera afectar a la planta en cuestión, para lo cual no hubo problemas en el cultivo del mango en esta localidad.

7.2 Concentraciones de nutrimentos disponibles en suelo y comparación entre localidades

Todas las localidades, excepto Las Tamacuas, presentaron deficiencias en N y P con carencias más evidentes en El Limón. Joluta-El Atracadero y El Limón tuvieron niveles bajos de Ca y Mg y El Limón presentó deficiencias en K y Zn. Todas estas insuficiencias se relacionan con los niveles medios a bajos del porcentaje de materia orgánica así como por valores de pH más bajos para el caso de El Limón, en donde se obtuvo el mayor número de nutrimentos en niveles bajos.

En este sentido, Las Tamacuas fue la localidad con el mayor contenido de materia orgánica en el intervalo medio, por lo cual no tuvo deficiencia de nutrimentos edáficos. San Francisco y Joluta-El Atracadero presentaron niveles medios de materia orgánica cercanos al intervalo bajo que pudieron generar deficiencias de N, P, Ca y Mg. Para suelos de El Limón, no sólo tuvo niveles bajos de materia orgánica, también presentó un pH más ácido que las demás localidades y si bien, esta acidez todavía se considera adecuada para el cultivo del mango, se encuentra cerca del intervalo inadecuado para el cultivo, por lo que en conjunto con los niveles bajos de materia orgánica, pudieron agravar la fertilidad nutrimental de N, P, K, Ca, Mg y Zn.

Una de las fuentes principales de N y P disponibles para las plantas proviene de la mineralización de la materia orgánica por parte de los microorganismos (Wild, 1973), por lo tanto, con la poca materia orgánica que presentaron las huertas estudiadas, la disponibilidad de estos macronutrimentos pudo disminuir e incluso agravarse en El Limón donde la materia orgánica fue menor a 1%.

El Ca disminuye sus concentraciones conforme el valor de pH es menor ya que constituye un neutralizador de la acidez del suelo al intercambiar Ca^{2+} por Al^{3+} e H^+ (Brady y Weil, 2008) por lo cual, era de esperarse la disminución de este nutrimento en Joluta-El Atracadero y principalmente en El Limón.

El Mg es un nutrimento con una adsorción ligeramente débil a las partículas del suelo lo que lleva a índices altos de lixiviación y por ende a deficiencias del nutrimento (Maathuis, 2009), esta lixiviación puede presentarse por niveles bajos de materia orgánica y acidez del suelo ya que en estas

condiciones no se retienen los nutrientes para promover la capacidad de intercambio iónico (Porta *et al.*, 2003), por lo cual, la deficiencia de Mg en Joluta-El Atracadero y El Limón también parecen relacionarse con los bajos niveles de materia orgánica y pH.

La deficiencia del K en El Limón también se relaciona con el bajo contenido de materia orgánica y acidez del suelo debido a que en estas condiciones el K se pierde de los sitios de intercambio iónico y es desplazado y lavado fácilmente (Porta *et al.*, 2003).

El Zn tiene una estrecha relación con la materia orgánica debido a que puede mantenerse disponible para las plantas en forma de quelato, los agentes quelantes en el suelo son sintetizados por las raíces pero principalmente producidos por los microorganismos y la materia orgánica (Tan, 1998). De esta forma, la deficiencia de Zn en El Limón pudo deberse a niveles bajos de materia orgánica que no permitieron la quelación y por lo tanto la disponibilidad del nutriente.

Con respecto a las diferencias estadísticamente significativas, los resultados también parecen coincidir con lo encontrado en los estados de fertilidad. Las Tamacuas al tener niveles medios de materia orgánica tuvieron mayores concentraciones de P, Ca, Mg, Fe, Zn y Cu con respecto a las demás localidades, es decir, los porcentajes medios de materia orgánica ayudaron a la mineralización de los macronutrientes y en el caso de los micronutrientes, la materia orgánica contribuyó en su disponibilidad al formar más quelatos que en las demás localidades. De manera inversa, El Limón tuvo concentraciones menores para N, S, Zn y Cu con respecto a los demás sitios, debido a su bajo porcentaje de materia orgánica.

Para el Mn, las diferencias altamente significativas en El Limón con respecto a San Francisco y Las Tamacuas, reflejan la relación del pH con este micronutriente, ya que conforme el pH se va haciendo más ácido hay una mayor disponibilidad de Mn (Humphries *et al.*, 2007). Las concentraciones altas de Mn concuerdan con los niveles bajos de pH en El Limón con respecto a los demás sitios, tanto a nivel de fertilidad como de diferencias estadísticas.

Los resultados de nutrientes edáficos muestran algunos cambios con los reportados en el 2001 (Anexo 3c), ya que actualmente se observa una ligera disminución en fertilidad de nutrientes edáficos en todas las localidades excepto Las Tamacuas; aunque presentan las mismas tendencias con un mejor estado de fertilidad de nutrientes en San Francisco y Las Tamacuas y una menor fertilidad en Joluta-El Atracadero y El Limón.

Es posible que las concentraciones bajas de nutrientes en El Limón sean causadas por su suelo arenoso franco con niveles bajos de pH y de materia orgánica, así como por el manejo proporcionado y otros factores no analizados. Las concentraciones superiores en Las Tamacuas para algunos nutrientes y su condición adecuada de fertilidad que difiere de las demás localidades podrían relacionarse con los niveles medios de materia orgánica, el tipo de suelo, su manejo y otros factores no analizados.

En este sentido, San Francisco se encuentra en suelos Cambisoles y Regosoles, Las Tamacuas en Fluvisoles y Joluta-El Atracadero y El Limón en Regosoles (INEGI, 2009). Los Fluvisoles por su origen aluvial suelen ser suelos fértiles; los Cambisoles son generalmente utilizados en la agricultura

de manera intensiva, aunque en zonas tropicales y con condiciones ácidas pueden ser pobres en nutrimentos; y los Regosoles tienen poca relevancia para la agricultura excepto si se encuentran en depósitos coluviales ya que pueden ser utilizados para cultivar algunos granos y árboles frutales (FAO, 2006). Por lo tanto, los Fluvisoles son suelos más fértiles que los Cambisoles y Regosoles, lo cual coincide con los resultados presentados en este estudio ya que Las Tamacuas (Fluvisoles) tuvieron un estado de fertilidad nutrimental mejor que las demás localidades.

7.3 Concentraciones de nutrimentos foliares en dos tiempos de muestreo

A grandes rasgos, el cultivo del mango se compone de cuatro fases en un año de producción en las regiones tropicales y subtropicales del hemisferio norte. El desarrollo foliar se presenta de junio a diciembre, la floración de diciembre a marzo, la fructificación de marzo a junio y la cosecha a partir de junio (Galán-Sauco, 1999).

Avilán (1971) propuso, para N, P y K, la existencia de dos fases críticas en la nutrición del árbol de mango; una fase de acumulación de éstos nutrimentos que comienza con la finalización de la cosecha y se extiende hasta la floración, y una fase donde disminuyen las concentraciones foliares, que coincide con la formación de los frutos. De manera similar, Chadha *et al.* (1984 en Samra y Arora, 1997), Durán-Zuazo *et al.* (2006) y Davenport (2007) obtuvieron mayores concentraciones foliares de macronutrimentos en huertas de mango para la etapa de desarrollo foliar y menores concentraciones en la fructificación. Durán-Zuazo *et al.* (2006) y Davenport (2007) encontraron mayores concentraciones de N, P y K en la fase de desarrollo foliar y menores concentraciones en la floración y fructificación; y Chadha *et al.* (1984 en Samra y Arora, 1997) obtuvieron menores concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en la cosecha debido a su translocación en los frutos.

No obstante, algunos análisis foliares de mango en México difieren con los descritos anteriormente; Guzmán-Estrada *et al.* (1997) y Guzmán *et al.* (1998) analizaron las concentraciones de los nutrimentos N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu en Veracruz y no encontraron un periodo de estabilidad definida, es decir, las concentraciones variaron en el transcurso del tiempo y el aumento o disminución de sus concentraciones fueron independientes de patrones fenológicos, del periodo de lluvias o de la fertilización. Por otra parte, Benítez-Pardo *et al.* (2003), al sur de Sinaloa, encontraron mayores concentraciones de N, P, K, S, y Mg antes y después del desarrollo de frutos.

Cabe señalar que para todos estos estudios, los muestreos y cuantificaciones foliares se realizaron cada mes en un año de producción, excepto Guzmán-Estrada *et al.* (1997) y Guzmán *et al.* (1998) que realizaron sus estudios en dos años de producción.

Sin embargo, esto no quiere decir que la fase vegetativa no sea la de mayor acumulación de nutrimentos y la floración-fructificación la fase de mayor demanda de ellos; al parecer, los cambios en las concentraciones de nutrimentos en cada fase no son tan marcados como para generar resultados significativos o tendencias evidentes; y cabe la posibilidad de intervención de otras variables no analizadas que podrían modificar las concentraciones foliares a través de los años de producción.

En este sentido, los resultados del presente estudio no exhibieron diferencias significativas (excepto el Fe) entre los dos tiempos de muestreo, el primero realizado a finales de mayo y principios de junio (fructificación, mayor demanda de nutrimentos) con el segundo realizado a finales de octubre y principios de noviembre (desarrollo foliar, acumulación de nutrimentos).

A pesar de que pocos nutrimentos (P, S y Cu) se encontraron en mayor concentración en la fase de desarrollo foliar y la mayoría (K, Ca, Mg, Fe, Mn y Zn) tuvieron niveles superiores en la fructificación, las diferencias no fueron significativas como para generar algún tipo de tendencia, lo cual se pudo dar por la dinámica natural del cultivo en la zona y/o por alguna otra variable que modifique este sistema. Además, al ser sólo dos puntos de muestreo en un año, este análisis generó muy poca información al respecto y presentó los mismos patrones si se analizaba de manera conjunta o separado por muestreo (datos no publicados).

7.4 Concentraciones de nutrimentos foliares y comparación entre localidades

San Francisco presentó niveles bajos de P y niveles adecuados de K, S, Ca, Fe, Mn, Zn y B en suelo y hojas; lo cual refleja una alta correspondencia entre sus concentraciones edáficas y foliares. El N foliar se encontró en niveles adecuados ya que tomó del suelo las cantidades necesarias dejando en deficiencia el N edáfico. El Mg y el Cu foliar se encontraron en niveles bajos con niveles edáficos adecuados; es probable que otras variables provocaron las deficiencias foliares como la competencia en la absorción del Mg con los cationes NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mn^{2+} (Marschner, 1995) e interacciones al interior de la planta con otros elementos como las que presenta el Cu con Fe, Mn, N, P y Ca (Kabata-Pendias y Pendias, 2001).

Las Tamacuas tuvieron niveles adecuados de N, K, S, Fe, Mn y B a nivel foliar y edáfico. El P y el Ca mostraron niveles foliares adecuados y niveles ligeramente altos en suelo, lo cual indica que la planta tomó lo necesario de cada nutrimento. El Cu y el Zn tuvieron niveles foliares bajos con niveles adecuados en suelo, posiblemente por interacciones al interior de la planta con otros elementos como las explicados para el Cu y las interacciones del Zn con Mn, Mg, Ca, P y N (Kabata-Pendias y Pendias, 2001). El Mg tuvo niveles foliares bajos y ligeramente altos en suelo probablemente por la competencia en su absorción con los cationes NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mn^{2+} (Marschner, 1995).

Joluta-El Atracadero presentó niveles bajos de P y Mg así como niveles adecuados de K, Fe y B en suelo y hoja. El N y el Ca foliar tuvieron niveles adecuados ya que tomaron del suelo las cantidades necesarias dejando en deficiencia estos nutrimentos edáficos. S, Zn y Cu presentaron niveles foliares bajos con niveles adecuados en el suelo, posiblemente por interacciones al interior de la planta con otros elementos como las explicadas para el Zn y el Cu así como por la relación del S con el N, ya que ambos elementos participan en la formación y función de aminoácidos y proteínas (Haneklaus *et al.*, 2007). El Mn tuvo niveles foliares altos con niveles edáficos adecuados, es probable que la disminución del pH del suelo aumentó la disponibilidad de Mn y favoreció su absorción a través de las

raíces; la acumulación parece congruente ya que del 2001 a la actualidad han aumentado las concentraciones foliares de Mn sin cambiar considerablemente sus concentraciones edáficas.

El Limón tuvo niveles bajos de P, Mg y Zn así como niveles adecuados de Fe y B en suelo y hoja. N, K y Ca mostraron niveles foliares adecuados ya que tomaron del suelo las cantidades necesarias dejando en niveles bajos estos nutrimentos edáficos. El S y el Cu presentaron niveles foliares bajos con niveles adecuados en suelo posiblemente por las interacciones ya explicadas al interior de la planta. El Mn tuvo niveles foliares en exceso con niveles adecuados en suelo, probablemente por la disminución del pH del suelo que generó una alta disponibilidad de Mn y favoreció su absorción y acumulación ya que también han aumentado las concentraciones foliares de Mn sin cambiar considerablemente sus concentraciones edáficas del 2001 a la actualidad.

Las altas concentraciones del Mn en Joluta-El Atracadero y en El Limón pueden estar interviniendo en las concentraciones de otros elementos ya que el Mn presenta interacciones tanto en suelo como en planta con Mg, Fe, Zn, P, Ca, K y N (Kabata-Pendias y Pendias, 2001).

Los resultados en nutrimentos foliares difieren en algunas variables con lo reportado en PUMA (2001), pero todas las localidades conservan niveles bajos de Cu, S, P, Mg y Zn así como un aumento en las concentraciones de Mn en Joluta-El Atracadero y en El Limón. En términos generales, los estados de fertilidad se han mantenido adecuado a bajo para San Francisco y Las Tamacuas pero Joluta-El Atracadero y El Limón han incrementado su estado bajo de fertilidad por los excesos de Mn y aumento de nutrimentos en deficiencia.

7.5 Correlaciones lineales entre características del suelo

El alto número de correlaciones positivas y significativas en las características edáficas demuestra la gran complejidad y relación en el sistema suelo. Al igual que en la determinación del estado de fertilidad en suelos así como en las diferencias entre localidades, las características pH, porcentaje de materia orgánica y textura (analizado en correlaciones con el % de arcillas) se correlacionaron de manera importante y determinaron las relaciones con las demás características.

Cabe señalar que no se han reportado estudios sobre correlaciones entre características edáficas en cultivos de mango o de algún otro frutal ya que por lo general se enfocan en la determinación de las características del suelo para establecer la fertilidad del mismo o sólo correlacionan la parte foliar.

7.6 Correlaciones lineales entre características edáficas y nutrimentos del suelo

Las correlaciones obtenidas mostraron la relación que tiene el pH, el porcentaje de materia orgánica y la textura con la disponibilidad de todos los macronutrimentos (principalmente con el N) en el cultivo del mango. Se confirmó que a pH ácido hay una menor disponibilidad de todos los macronutrimentos y los contenidos bajos de materia orgánica en suelos arenosos han provocado la disminución de

macronutrientos; excepto para el S que no muestra relación significativa con la materia orgánica, probablemente por tener como segunda fuente de suministro a las emisiones de la termoeléctrica (PUMA, 2001).

No se obtuvieron correlaciones significativas del Fe y el B con ninguna de las características edáficas, lo cual plantea la posible falta de relaciones de estos elementos con las características edáficas en el cultivo del mango, ó representa la presencia de correlaciones débiles debido a otros factores que las enmascaran. Al respecto, se tiene ampliamente reportado para muchas plantas la correlación negativa del Fe con el pH (Kabata-Pendias y Pendias, 2001) y relaciones positivas con la materia orgánica (Tan, 1998; Kabata-Pendias y Pendias, 2001); y para el caso del B se han documentado correlaciones del elemento con el pH, la materia orgánica y los minerales de arcilla (Malavé, 2005).

Las relaciones significativas y negativas del Mn con todas las características edáficas parecen relacionarse con su mayor solubilidad a pH ácidos, como también sucede para Fe, Zn y Cu (USDA, 1998), sin embargo, el Mn aumenta sus concentraciones en gran medida conforme se acidifica el suelo (Humphries *et al.*, 2007); por lo tanto, podría genera las relaciones con las demás características edáficas de manera indirecta.

Las correlaciones del Zn y el Cu con todas las características edáficas parecen relacionarse con los porcentajes de materia orgánica, ya que con esta característica los micronutrientos obtuvieron los coeficientes de correlación más altos ($r=0.84$ para el Zn y $r=0.81$ para el Cu) porque a mayores porcentajes de materia orgánica aumenta la disponibilidad de estos metales al tener la posibilidad de formar quelatos (Tan, 1998).

7.7 Correlaciones lineales entre nutrientes del suelo

Las altas correlaciones positivas y significativas entre todos los macronutrientos demostraron que su disponibilidad y absorción parecen relacionarse; lo cual corrobora Domínguez (1997) para N, P, K y S; es decir, estos nutrientes provienen principalmente de la mineralización de la materia orgánica (Wild, 1973; Wainwright, 1984) y a pH ácidos disminuyen su disponibilidad (Porta *et al.*, 2003). Todos los macronutrientos edáficos presentaron relaciones significativas y positivas con el porcentaje de materia orgánica y el pH, lo cual de manera indirecta pudo generar las relaciones positivas entre los macronutrientos.

Las correlaciones entre micronutrientos fueron pocas, pero resaltó la relación Cu-Zn que al parecer se relaciona de manera indirecta con la materia orgánica por la formación de quelatos que aumenta la estabilidad en la solución del suelo de ambos nutrientes (Tan, 1998). Las correlaciones entre macronutrientos y micronutrientos fueron positivas para N, P, K, S, Ca, Mg, Zn y Cu probablemente de manera indirecta por la correlación de estos nutrientes con la materia orgánica.

Las correlaciones negativas del Mn con todos los macronutrientos parecen relacionarse de manera indirecta con la disponibilidad de estos nutrientes a pH ácidos, ya que los macronutrientos

disminuyen su disponibilidad a pH bajos mientras que el Mn la aumenta considerablemente (USDA, 1998). Las relaciones negativas del Mn con el Zn y el Cu parecen estar enmascaradas por el factor determinante para estos dos últimos elementos (el bajo porcentaje de materia orgánica), ya que los contenidos bajos de materia orgánica provocaron poca disponibilidad de Zn y Cu a pesar de tener pH ácidos, por lo tanto, se generó la correlación negativa con el Mn que presentó como factor determinante al pH.

El Fe y el B no presentaron algún tipo de correlación significativa con los demás nutrientes edáficos, lo cual parece reforzar la falta de relaciones de estos elementos con cualquier característica del suelo; sin embargo, no se descartan variables que pudieran estar interviniendo, ya que en la literatura se relaciona al Fe con carbonatos y fosfatos debido a la precipitación de este micronutriente (Kabata-Pendias y Pendias, 2001) y al B se le relaciona con óxidos de hierro y manganeso así como con carbonatos de calcio (Malavé, 2005).

7.8 Correlaciones lineales entre nutrientes en suelo y en hojas

Una de las finalidades del análisis foliar es establecer los niveles de nutrientes por debajo o por encima de los cuales el cultivo del mango presenta síntomas de deficiencia o toxicidad (Camacho, 1985), pero debe ser complementado por un estudio de fertilidad del suelo (Samra y Arora, 1997); debe existir cierta correspondencia entre el análisis edáfico y el foliar debido a que los nutrientes analizados tienen al suelo como principal suministro (Wild, 1973; Brady y Weil, 2008).

Al respecto, las correlaciones entre nutrientes edáficos y sus respectivos nutrientes foliares mostraron coeficientes significativos para P, S, Ca y Mn; sin embargo, la correlación del P fue la única que mostró una correlación contundente. Estos resultados coinciden con los reportados por Bopaiiah y Srivastava (1984 en Samra y Arora, 1997) que encontraron en mangos de la India una correlación significativa entre el P disponible y el P en hojas pero ninguna correlación entre N y K en suelo y hoja; este autor sugiere que sólo existe correlación suelo-hoja con el P, tal y como se observó en el presente estudio.

Sin embargo, esto no quiere decir que las deficiencias, excesos o niveles adecuados en suelos no correspondan a las observadas en las hojas de los mangos; ya que las correlaciones ajustan a una linealidad de los nutrientes y los estados de fertilidad a intervalos amplios de concentraciones que pueden variar entre regiones, años, análisis realizados, variedades, entre otros factores (Samra y Arora, 1997); por lo tanto, la deficiencia en suelos del P corresponde a su deficiencia foliar así como a la correlación lineal que expresa su estrecha relación entre la matriz suelo y la matriz hoja para este nutriente.

VIII CONCLUSIONES

1. San Francisco, Las Tamacuas y Joluta-El Atracadero tuvieron características edáficas adecuadas a deficientes por presentar niveles medios a bajos de materia orgánica; El Limón tuvo un estado bajo por su poca materia orgánica, acidez del suelo y textura arenosa. Al parecer, los suelos se han acidificado y perdido materia orgánica, lo que ha generado una disminución en su potencial de fertilidad; aunque es probable que El Limón presente niveles más bajos de fertilidad con respecto a las demás localidades debido a los niveles bajos de las características descritas.
2. El estado de fertilidad de los nutrimentos edáficos fue adecuado para Las Tamacuas por no presentar deficiencias, moderadamente adecuado para San Francisco por niveles bajos de N y P, de medio a bajo para Joluta-El Atracadero debido a deficiencia de N, P, Ca y Mg, y bajo para El Limón por deficiencia en N, P, K, Ca, Mg y Zn. Estas deficiencias se relacionan con las texturas arenosas, niveles medios a bajos de materia orgánica y acidez del suelo ya que de esta forma se liberan menos nutrimentos por mineralización y la quelación de micronutrimentos disminuye; además, las deficiencias también pueden corresponder a factores locales de manejo y prácticas de fertilización, entre otras variables no analizadas.
3. No se observaron diferencias significativas entre los dos tiempos de muestreo foliar; es probable que las variaciones foliares no sean tan marcadas como para generar tendencias evidentes entre las fases del cultivo de mango.
4. El estado nutrimental de las hojas de mango fue de adecuado a bajo para San Francisco y Las Tamacuas por deficiencias de P, Mg, Zn y Cu, así como bajo para Joluta-El Atracadero y El Limón por deficiencias marcadas en P, S, Mg, Zn, Cu y niveles altos de Mn. Las deficiencias o excesos foliares que no correspondieron a sus niveles edáficos se relacionaron con las interacciones con otros elementos en la absorción ó por interacciones al interior de la planta.
5. Las correlaciones exhibieron la alta relación entre el pH, la materia orgánica y la textura con respecto a las demás características edáficas y nutrimentos del suelo, ya que cambian las propiedades del suelo así como la disponibilidad de los nutrimentos. De esta manera, los estados de fertilidad y diferencias entre localidades parecen ser explicados en gran medida por el comportamiento de estas características así como por la naturaleza de los suelos y las interacciones con otras variables no determinadas.

IX LITERATURA CITADA

- Aguilera, N. 1989. *Tratado de edafología en México. Tomo I.* Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Alexander, M. 1980. *Introducción a la microbiología del suelo.* AGT Editor, México. 491 pp.
- Arnon, D. y P. Stout, 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology* 14(2): 371-375.
- Avilán, L. 1971. Variaciones de los niveles de Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Calcio en las hojas de mango (*Mangifera indica* Linn.) a través de un ciclo de producción. *Agronomía Tropical* 21(1): 3-10.
- Azcón-Bieto y M. Talón. 2008. *Fundamentos de fisiología vegetal.* 2ª ed. McGraw-Hill Interamericana, Madrid. 651 pp.
- Beaton, J. D., G. R. Burns y J. Platou. 1968. *Determination of sulphur in soil and plant material. Technical Bulletin No. 14.* The Sulphur Institute, Washington. 56 pp.
- Benito-Pardo, D., M. Hernández-Montoya, T. Osuna-Enciso, M. Valenzuela-López y B. Galván-Piña. 2003. Muestreo y análisis foliar relacionados con fenología en mango en el sur de Sinaloa, México. *Terra Latinoamericana* 21(2): 273-283.
- Blake, G. R. y K. H. Hartge. 1986. Bulk density. In: Klute, A. (ed.), *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods.* 2ª ed. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp. 363-375.
- Bouwer, C. A., R. F. Reitmeier y M. Fireman. 1952. Exchangeable Cation Analysis of Saline and Alkali Soils. *Soil Science* 73(4): 251-262.
- Bouyoucos, G. J. 1936. Directions for making mechanical analysis of soil by hydrometer method. *Soil Science* 42(3): 225-230.
- Brady, N. y R. Weil. 2008. *The nature and properties of soils.* 14ª ed. Prentice Hall, Nueva Jersey. 965 pp.
- Bray, R. H. y L. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59(1): 39-46.
- Brock, T. y M. Madigan. 1991. *Biology of microorganisms.* 6ª ed. Prentice Hall, Nueva Jersey. 879 pp.
- Calace, N., B. M. Petronio y M. Pietroletti. 2006. Metal bioavailability: How does its significance change in the time? *Annali di Chimica* 96(3-4): 131-136.
- Camacho-Cristóbal, J. J., J. Rexach y A. González-Fontes. 2008. Boron in Plants: Deficiency and Toxicity. *Journal of Integrative Plant Biology* 50(10):1247-1255.
- Camacho, M. E. R. 1985. *Estudios preliminares para la determinación de algunos macronutrientes a través del análisis foliar para diagnosticar deficiencias en un cultivo de mango Manila (Mangifera indica, L.) del Municipio de Chacaltiango Estado de Veracruz.* Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal. 81 pp.

- Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBN). 2003. *Manifestación de Impacto Ambiental en su modalidad particular: Depósito de ceniza de carbón Zona de Playa de la Central Termoeléctrica Presidente Plutarco Elías Calles*. La Paz, Baja California Sur. 319 pp.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. *Manglares de México: Extensión y distribución*. 2ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 99 pp.
- Charman, P. y B. Murphy. 2007. *Soils their properties and management*. 3ª ed. Oxford University Press, Sidney. 461 pp.
- Davenport, T. L. 2007. Reproductive physiology of mango. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19(4): 363-376.
- De los Santos, M. 2006. *Diagnóstico edafonutricional de los suelos cultivados con mango Mangifera indica L. cv. Aaulfo en el Soconusco, Chiapas*. Tesis Profesional. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 70 pp.
- Diario Oficial de la Federación. 2002. *NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. México. 73 pp.
- Doménech, X. y J. Peral. 2006. *Química Ambiental de Sistemas Terrestres*. Reverté, S. A., Barcelona. 239 pp.
- Domínguez, A. 1997. *Tratado de fertilización*. 3ª ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 607 pp.
- Durán-Zuazo, V. H., J. Aguilar-Ruiz y A. Martínez-Raya. 2006. Fruit yield, plant growth and nutrient status in mango. *International Journal of Fruit Science* 5: 3-21
- Fitzpatrick, E. 1980. *Soils: Their formation, classification and distribution*. Longman, Londres. 353 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Estadísticas de producción 2010 y comercio 2009. Disponible en: <http://faostat.fao.org>. Fecha de consulta: 30 de agosto de 2012.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). International Union of Soil Sciences (IUSS) Working Group WRB. 2006. World reference base for soil resources 2006. 2ª ed. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/wrb/doc/wrb2006final.pdf>. Fecha de consulta: 8 de marzo de 2011.
- Gadek, P. A., E. S. Fernando, C. J. Quinn, S. B. Hoot, T. Terrazas, M. C. Sheahan y M. W. Chase. 1996. Sapindales: Molecular delimitation and infraordinal groups. *American Journal of Botany* 83(6): 802-811.
- Galán-Sauco, V. 1999. *El cultivo del mango*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 298 pp.
- García, E. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. 5ª ed. Instituto de Geografía, UNAM, México. 90 pp.
- Gupta, U. C. 1967. A simplified method for determining of hot water soluble boron on podzol soil. *Soil Science* 103(6): 424-428.

- Guzmán, C., S. Blanco, R. Mosqueda y A. Martínez. 1998. Variación del contenido foliar de Ca, Mg y micronutrientes en mango cv. Manila. *Revista de la Facultad de Agronomía (Maracay)* 24:41-58.
- Guzmán-Estrada, C., R. Mosqueda-Vázquez, S. Alcalde-Blanco y A. Martínez-Garza. 1997. Macro and micronutrients foliar content variation in mango cv. Manila. *Acta Horticulturae* 455:471-478.
- Hamlin, R. 2007. Molybdenum. In: Barkey, A. y D. Pilbeam (eds.), *Handbook of plant nutrition*. Taylor and Francis Group, Boca Ratón, Florida, pp. 375-393.
- Haneklaus, S., E. Bloem, E. Schnug, L. de Kok e I. Stulen. 2007. Sulfur. In: Barkey, A. y D. Pilbeam (eds.), *Handbook of plant nutrition*. Taylor and Francis Group, Boca Ratón, Florida, pp. 183-237.
- Hänsch, R. y R. Mendel. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology* 12(3): 259-266.
- Havlin, J. L., S. L. Tisdale, W. L. Nelson y J. D. Beaton. 1999. *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*. 6^a ed. Prentice Hall, Nueva Jersey. 499 pp.
- Hillel, D. 2004. *Introduction to environmental soil physics*. Elsevier, Amsterdam. 494 pp.
- Humphries, J., J. Stangoulis y R. Graham. 2007. Manganese. In: Barkey, A. y D. Pilbeam (eds.), *Handbook of plant nutrition*. Taylor and Francis Group, Boca Ratón, Florida, pp. 351-373.
- Instituto de Ingeniería (II). 2004. *Manifestación de Impacto Ambiental: Proyecto 62 CCE Pacífico Central Carboeléctrica*. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal. 507 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1987. *Carta Topográfica 1: 50 000 Feliciano E14A81*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2000. *Carta Topográfica 1: 50 000 Lázaro Cárdenas E13D19*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2001. *Carta Topográfica 1: 50 000 La Unión E14C11*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2007. *Carta Topográfica 1: 50 000 La Mira E13B89*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009. *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. La Unión de Isidoro Montes de Oca, Guerrero*. Clave geoestadística 12068. Disponible en:
<http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/12/12068.pdf>. Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2011.
- Jackson, M. L. 1976. *Análisis químico de suelos*. 3^a ed. Omega, Barcelona. 662 pp.
- Kabata-Pendias, A. y H. Pendias. 2001. *Trace elements in soils and plants*. 3^a ed. CRC Press, Boca Ratón, Florida. 413 pp.
- Krishna, K. R. 2002. *Soil fertility and crop production*. Science. Enfield, Nuevo Hampshire. 465 pp.
- Lal, R., P. Hobbs y N. Uphof. 2004. *Sustainable agriculture and the international rice-wheat system*. Marcel Dekker, Inc., Nueva York. 532 pp.

- Larson, K., B. Schaffer, F. Davies y C. Sánchez. 1992. Flooding, mineral nutrition and gas exchange of mango trees. *Scientia Horticulturae* 52(1-2): 113-124.
- Linsay, W. L. y W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42(3): 421-428.
- Maathuis, F. J. M. 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology* 12: 250-258.
- Malavé, A. 2005. Los suelos como fuente de boro para las plantas. *Revista UDO Agrícola* 5(1): 10-26.
- Manlay, R. J., C. Feller y M. J. Swift. 2007. Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationship with the fertility and sustainability of cropping systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119(3-4): 217-233.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2ª ed. Academic Press Inc., Londres. 890 pp.
- Mauseth, J. D. 2009. *Botany: An introduction to plant biology*. 4ª ed. Jones and Bartlett Publishers, Sudbury, Massachusetts. 624 pp.
- Merhaut, D. 2007. Magnesium. In: Barkey, A. y D. Pilbeam (eds.), *Handbook of plant nutrition*. Taylor and Francis Group. Boca Ratón, Florida, pp. 145-181.
- Millar, C., L. Turk y H. Foth. 1965. *Fundamentals of soil science*. 4ª ed. J. Willey, Nueva York. 491 pp.
- Mora, J., J. Gamboa y R. Elizondo. 2002. *Guía para el cultivo del mango (Mangifera indica. En San José de Costa Rica)*. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica. 58 pp.
- Munro, D (Coord.). 2005. *Paquete tecnológico para el cultivo de Mango en el Estado de Colima*. Gobierno del Estado de Colima, Secretaría de Desarrollo Rural. 50 pp.
- National Research Council (NRC), Committee on Long-Range Soil and Water Conservation, Board on Agriculture. 1993. *Soil and water quality – An agenda for agriculture*, The National Academy Press, Washington. 516 pp.
- Navarro, A. 1992. Altitudinal distribution of birds in the Sierra Madre del Sur, Guerrero, México. *The Condor* 94(1): 29-39.
- Osuna-Enciso, T., E. M. Engleman, A. E. Becerril-Román, R. Mosqueda-Vázquez, M. Soto-Hernández y A. Castillo-Morales. 2000. Iniciación y diferenciación floral en mango “manila”. *Agrociencia* 34(5): 573-581.
- Parrota, J. A. 1993. *Mangifera indica L. Mango*. Department of Agriculture, Forest, Southern Forest Experiment Station, Nueva Orleans. 6 pp.
- Paul, E. 2007. *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. 3ª ed. Academic Press, Oxford. 532 pp.
- Pilbeam, D. y P. Morley. 2007. Calcium. In: Barkey, A. y D. Pilbeam, D. (eds.), *Handbook of plant nutrition*. Taylor and Francis Group. Boca Ratón, Florida, pp. 121-143.
- Pilon-Smits, E. A. H., C. F. Quinn, W. Tapken, M. Malagoni y M. Schiavon. 2009. Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology*. 12(3): 267-274.
- Ponchner, S., R. Rojas y E. Bornemisza. 1993a. Variación estacional de nutrimentos en árboles de mango (*Mangifera indica*) en tres suelos del Pacífico Seco de Costa Rica. I. Macronutrimentos. *Agronomía Costarricense* 17(2): 21-30.

- Ponchner, S., R. Rojas y E. Bornemisza. 1993b. Variación estacional de nutrimentos en árboles de mango (*Mangifera indica*) en 3 suelos del Pacífico Seco de Costa Rica. II. Oligoelementos. *Agronomía Costarricense* 17(2): 31-37.
- Porta, J., M. López-Acevedo y C. Roquero. 2003. *Edafología: para la agricultura y el medio ambiente*. 3ª ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 929 pp.
- Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA). 2001. *Diagnóstico ambiental en la zona de influencia de la central termoeléctrica Plutarco Elías Calles, Petacalco, Guerrero. Subproyecto: Estudios edafocológicos en huertas de mango*. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal. 390 pp.
- Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA). 2009. *Diagnóstico ambiental de la zona de influencia CTPPEC durante la construcción-puesta en servicio de la Unidad 7*. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal. 372 pp.
- Ramírez, F. y T. Davenport. 2010. Mango (*Mangifera indica* L.) flowering physiology. *Scientia Horticulturae* 126(2): 65-72.
- Rzedowski, 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México. 432 pp.
- Salisbury, B. F. y C. W. Ross. 2000. *Fisiología de las plantas Volumen 1: células: agua, soluciones y superficies*. Paraninfo, Madrid. 305 pp.
- Samra, J. S. y Y. K. Arora. 1997. Mineral Nutrition. In: Litz, R. E. (ed.), *The Mango: Botany, Production and uses*. CAB International, Wallington, Reino Unido, pp. 175-201.
- Sánchez, P. A., C. A. Palm y S. W. Buol. 2003. Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma* 114(3-4): 157-185.
- Segent, E. 1999. *El cultivo del mango (Mangifera indica L.) Botánica, manejo y comercialización*. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. 310 pp.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), SAGARPA. Información del cultivo de interés mango 2011. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=262. Fecha de consulta: 30 de agosto de 2012.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Normales climatológicas 1971-2000 para las estaciones Vaso la Villita y La Villita en Michoacán y La Unión en Guerrero. Disponible en: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75. Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2011.
- Siebe, C., R. Jahn y K. Stahr. 1996. *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. Publicación Especial 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C., Chapingo, México. 57 pp.
- Smith, S. y D. Read. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*. 2ª ed. Academia Press, San Diego, California, 606 pp.

- Smithson, P., K. Addison y K. Atkinson. 2008. *Fundamentals of physical environment*. 4^a ed. Routledge Taylor & Francis Group. Londres. Y Nueva York. 776 pp.
- Sotelo, A. 1989. *Estudio de fertilidad de los suelos cafetaleros de una finca del Mpio. El Bosque, Chiapas*. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal. 88 pp.
- Subba, N. 1999. *Soil microorganisms and plant growth*. 4^a ed. Science, Nuevo Hampshire. 407 pp.
- Tan, K. 1998. *Principles of soil chemistry*. 3^a ed. Marcel Dekker Inc. Press, Nueva York. 521 pp.
- Tisdale, S. L., W. B. Nelson y J. D. Beaton. 1993. *Soil fertility and fertilizers*. 5^a ed. Macmillan, Nueva York. 634 pp.
- Troeh, F. R. y L. M. Thompson. 1993. *Soils and soil fertility*. 5^a ed. Oxford University, Nueva York. 462 pp.
- United States Department of Agriculture (USDA). 1998. Soil Quality Information Sheet. Soil Quality Indicators: pH. Disponible en: <http://soils.usda.gov/sqi/publications/files/indicate.pdf>. Fecha de consulta: 2 de febrero de 2011.
- United States Department of Agriculture (USDA), National Resources Conservation Service. 1999. *Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. 2^a ed. Soil Survey Staff, Washington. 869 pp.
- Van Reeuwijk, L. P. (ed.). 2002. *Procedures for soil analysis*. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC). Technical Paper No.9. 6^a ed., Wageningen, Holanda. 101 pp.
- Wainwright, M. 1984. Sulfur oxidation in soils. *Advances in Agronomy* 37: 349-396.
- Wild, A. 1973. *Russell's soil conditions and plant growth*. 11^a ed. J. Wiley, Nueva York. 991 pp.
- Young, T. W. y R. C. J. Koo. 1969. Mineral composition of Florida mango leaves. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 82: 324-328.

ANEXOS

Anexo 1

a) Métodos utilizados para los análisis edáficos

Densidad Aparente (Blake y Hartge, 1986)

1. Las muestras obtenidas de campo con los cilindros de aluminio de 100 cm³ se colocaron en un recipiente de peso conocido dentro de una estufa (Venticell, modelo 707 Standard) a 105°C por 24 horas en el cuarto de secado del Instituto de Geología, UNAM.
2. Transcurrido este tiempo las muestras se sacaron de la estufa, se colocaron en un desecador hasta enfriarse y se pesaron en una balanza (precisión de 0.1g).
3. La densidad se cuantificó gravimétricamente relacionando el cociente entre el peso obtenido y el volumen del cilindro de muestreo.

Textura (modificado de Bouyoucos, 1936 por Unidad de Análisis Ambiental, Facultad de Ciencias UNAM)

1. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Edafología Ambiental (LEA) del Instituto de Geología, UNAM. Se pesaron 50 g de suelo seco y tamizado en vasos de Berzelius y se le agregaron aproximadamente 100 ml de agua destilada.
2. Como parte de los pretratamientos se agregó H₂O₂ al 8% a cada muestra hasta oxidar la materia orgánica, es decir hasta que la suspensión ya no mostrara signos de efervescencia prolongada. Para acelerar el proceso se colocaron las muestras en baño María a una temperatura de 60°C.
3. Después, para la destrucción de sesquióxidos, se agregó a cada muestra 160 ml de citrato de sodio 0.3M y 40 ml de NaHCO₃ en baño María a 75°C, después, se agregaron 5 g de ditionito de sodio y se dejó durante 20 min en el baño María.
4. Se procedió al lavado de sales donde las muestras se colocaron en vasos nalgene y se centrifugaron a 2500 rpm durante 15 min decantando el sobrenadante. Las muestras se llenaron con agua destilada y se repitió el procedimiento hasta llegar a una conductividad eléctrica menor a 100 μScm^{-1} para cada muestra.
5. A las muestras provenientes de los pretratamientos se les agregaron 50 ml de hexametáfosfato de sodio (NaPO₃)₆ 0.4N, se agitaron durante la noche y al día siguiente se colocaron 5 min en ultrasonido antes de su determinación por el método de Bouyoucos.
6. Para el análisis de Bouyoucos la suspensión del suelo se vertió en una probeta de 1000 ml, se aforó hasta la marca con agua destilada y se midió la temperatura de la suspensión; después se agitó la suspensión durante 1 min, se dejó reposar 40 segundos, se tomó la primera lectura con el hidrómetro y se anotó la temperatura. Cada probeta se dejó reposar 2 horas y transcurrido este tiempo se hizo la segunda lectura y se midió la temperatura.
7. Se calculó el porcentaje de arenas, limos y arcillas y se consultó el triángulo de texturas para su clasificación.
8. Controles de calidad: Todas las muestras se hicieron por duplicado y cada lote incluyó un blanco de reactivo y una muestra patrón (Xico, muestra interna estandarizada del Instituto de Geología).

pH (Van Reeuwijk, 2002)

1. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Edafología Ambiental en el Instituto de Geología. Se pesaron 10 g de suelo de cada muestra tamizada y se colocaron en frascos nalgene de 50 ml.
2. Para la determinación de la acidez real a cada muestra se le adicionaron 25 ml de agua destilada (relación 1:2.5, suelo:agua) mediante un dosificador Brand W-Germani, se agitaron durante 18 horas y se dejaron en reposo durante 1 hora. Se midió el pH en los sobrenadantes con un potenciómetro WTW inoLab pH 720 previamente calibrado con soluciones amortiguadoras WTW D-82362 Weilheim a pH 4, 7 y 10.
3. Para la determinación de la acidez potencial se utilizó una relación 1:2.5 (suelo: solución) con KCl 1N y se aplicó el mismo procedimiento utilizado para acidez real.
4. Controles de calidad: Todas las muestras se hicieron por duplicado, cada lote incluyó un blanco de reactivo y un material de referencia (Xico). La verificación de la calibración se realizó cada 10 lecturas con soluciones amortiguadoras WTW D-82362 Weilheim a pH 4,7 y 10.

Conductividad eléctrica (Van Reeuwijk, 2002)

1. La medición de la conductividad eléctrica se realizó en el extracto acuoso de suelo con relación 1:2.5 de agua destilada utilizado para la medición del pH, para lo cual, el sobrenadante de cada muestra se transfirió a un tubo de vidrio. La medición se realizó con un conductímetro WTW LF90.
2. Controles de calidad: Todas las muestras se hicieron por duplicado y cada lote de muestras procesado incluyó un blanco de reactivo y un material de referencia (Xico).

Cationes intercambiables Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ (Bouwer et al, 1952 y Van Reeuwijk, 2002)

1. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Edafología Ambiental en el Instituto de Geología. Se pesaron 4 g de suelo de cada muestra tamizada y se colocaron en tubos de centrífuga de 50 ml.
2. Se preparó una solución de acetato de amonio 1N agregando 114 ml de ácido acético concentrado (CH_3COOH 99.9%) y 36 ml de hidróxido de amonio concentrado (NH_4OH) 28-30% en 1L de agua destilada, se ajustó el pH a 7.0 y se aforó a 2 L.
3. A cada muestra se agregaron 33 ml de acetato de amonio 1 N a pH 7 y se agitaron durante 5 min. Se centrifugaron las muestras a 2,500 rpm durante 10 min en una centrífuga Hermle Z513. Se filtró el sobrenadante en un envase de plástico de 150 ml y se repitió el procedimiento de extracción dos veces más agregando en la última lavada 34 ml para completar 100 ml.
4. Para determinar Ca^{2+} y Mg^{2+} se preparó una solución de lantano al 5% en un baño María con 5.86 g de óxido de lantano (La_2O_3), 2 ml de agua destilada y 10 ml de HCl concentrado al 37.5%. Una vez fría la solución se aforó a 100 ml con agua destilada y a partir de esta solución se tomaron 100 ml para aforar a 1L con agua destilada y obtener lantano al 0.5%. A cada extracto de las muestras se agregó solución de lantano al 0.5% en diluciones 1:10, 1:50 y 1:100 dependiendo de la cantidad de Ca^{2+} y Mg^{2+} presente en las muestras; y la determinación se realizó por medio del espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 3110.
5. Para la determinación de K^+ se preparó una solución de cesio al 2% disolviendo 2.5 g de CsCl al 100% en 100 ml de agua destilada; se tomaron 10 ml de esta solución y se aforó a 100 ml con agua destilada para obtener una concentración de cesio al 0.2%. De esta solución se tomaron 5 ml para aforar a 100 ml con agua destilada y obtener cesio al 0.1%. A cada extracto de la muestra se agregó solución de cesio al

0.1% en diluciones 1:10 y 1:40 dependiendo de la concentración presente en las muestras y su determinación se realizó por medio del flamómetro Corning 400.

6. Controles de calidad: Todas las muestras se hicieron por duplicado. Cada lote de muestras procesado incluyó 2 blancos de reactivo, 2 materiales de referencia (Xico) y calibración del equipo cada 20 lecturas.

Carbono y Nitrógeno totales

1. Las muestras de suelo tamizadas fueron pulverizadas con un mortero de ágata para obtener un polvo más fino. La determinación se hizo en el Laboratorio de Edafología Ambiental en un analizador elemental CNHS/O (Perkin Elmer 2400 Series II).
2. Todas las muestras se analizaron por duplicado en modo CHN utilizando Helio como gas acarreador. Las muestras pasaron por una combustión libre de oxígeno a 980°C y a 640°C de reducción para quedar en forma de CO₂ y N₂.
3. Los gases se mezclaron homogéneamente bajo presiones, temperaturas y volúmenes controlados internamente y fueron separados eliminando la presión por cromatografía frontal en el equipo, finalmente se utilizó la conductividad térmica como detector y acetanilida como compuesto de calibración.

Fósforo disponible (Bray y Kurtz, 1945)

1. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Edafología Ambiental del Instituto de Geología. Se pesó 1 g de suelo por cada muestra tamizada y se colocaron en un tubo de ensayo de 30 ml.
2. A cada tubo se le agregaron 7 ml de solución extractora (460 ml de agua destilada, 15 ml de NH₄F 1 N, 25 ml de HCl 0.5 N) y se tapó con parafilm. Los tubos se agitaron manualmente durante 1 min y se filtró el contenido a través de papel filtro Whatman No. 2.
3. Se tomó 1 ml del extracto filtrado, 2 ml de ácido bórico y 3 ml de mezcla reactiva. La mezcla para 200 ml consistió de 133.33 ml de agua destilada, 33.33 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 2.5 M, 10 ml de solución de molibdato de amonio al 4%, 20 ml de solución de ácido ascórbico al 1.75% y 3.33 ml de solución de tartrato de potasio y antimonio al 0.275%.
4. Esta nueva mezcla se homogeneizó, se dejó reposar 1 hora y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 720 nm en un espectrofotómetro.
5. Control de calidad: Todas las muestras se realizaron por duplicado, cada lote de muestras incluyó 2 muestras patrón (Xico) y 2 blancos de reactivo.

Sulfatos disponibles (Beaton et al., 1968)

1. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Edafología Ambiental en el Instituto de Geología. Se pesaron 10 g de muestra tamizada en un tubo de centrífuga y se agregaron 25 ml de solución extractora con 100 mg/l de P (Ca(H₂PO₄)₂).
2. Los tubos se agitaron durante 30 min a 180 rpm y posteriormente se centrifugaron durante 5 min a 3000 rpm. Se extrajo el sobrenadante, se filtraron las muestras con filtros Millipore de 0.45 µm y se depositaron en tubos para su análisis en cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC, por sus siglas en inglés, marca Waters) donde se utilizó una fase móvil líquida compuesta de Gluconato Borato de Sodio (1.3mM) con una columna de intercambio sólida.
3. Controles de calidad: Se realizaron duplicados para cada muestra, blancos del equipo y la verificación de la calibración cada 20 lecturas.

Micronutrientes metálicos disponibles Fe²⁺, Mn²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺ (Lindsay y Norvell, 1978)

1. La extracción y determinación se realizaron en la Unidad de Análisis Ambiental (UNAAMB) en la Facultad de Ciencias, UNAM. Se pesaron 10 g de suelo tamizado de cada muestra en tubos de

centrífuga a los cuales se les agregaron 20 ml de solución extractora y se agitaron los tubos durante 2 horas en posición horizontal.

2. La extracción se realizó por medio de una solución a pH 7.3 de ácido dietilentriaminopentacético (DTPA) 0.005M, cloruro de calcio ($\text{Ca}_2\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 0.01M y trietanolamina (TEA) 0.1M.
3. Posterior a la agitación, se filtraron las muestras con papel Whatman No. 5 y se realizaron diluciones 1:10 y 1:20 para las muestras que así lo requirieron.
4. La cuantificación de los micronutrientes se realizó por espectrometría de absorción atómica.
5. Controles de calidad: Todas las muestras se realizaron por duplicado, el lote incluyó 4 blancos de reactivo, 4 muestras patrón (Xico) y calibración del equipo cada 20 lecturas.

Boro disponible (modificado de Gupta, 1967 por UNAAMB)

1. La extracción se realizó en el Laboratorio de Edafología Ambiental del Instituto de Geología y la determinación en el Laboratorio de Fisicoquímica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
2. Para la extracción se pesaron 20 g de suelo tamizado por muestra en un matraz Erlenmeyer al cual se le agregaron 40 ml de CaCl_2 0.01M y se pesó esta nueva solución.
3. El matraz se calentó lentamente hasta que empezó a hervir y se mantuvo así por 5 min, posteriormente se tapó y se dejó enfriar para reponer el agua evaporada por diferencia de peso con agua destilada y se filtró el sobrenadante con filtros Whatman No. 2.
4. Del filtrado se tomaron 20 ml para depositarlos en un crisol y se añadieron 2 ml de suspensión $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para evaporar hasta secar en baño María; al material seco se añadieron 5 ml de HCl (0.1N) y se agitó la muestra.
5. Se cuantificó el elemento por medio de espectrometría de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS, por sus siglas en inglés, marca Agilent Technologies).
6. Controles de calidad: Todas las muestras se hicieron por triplicado, cada lote de muestras incluyó 2 blancos de reactivo y 3 muestras patrón (Xico).

b) Métodos utilizados para los análisis foliares

N total

1. La determinación se hizo en el Laboratorio de Edafología Ambiental en un analizador elemental CHNS/O (Perkin Elmer 2400 Series II).
2. Todas las muestras pulverizadas se analizaron por duplicado en modo CHN utilizando Helio como gas acarreador. Las muestras pasaron por una combustión libre de oxígeno a 980°C y a 640°C de reducción para quedar en forma de CO_2 y N_2 .
3. Los gases se mezclaron homogéneamente bajo presiones, temperaturas y volúmenes controlados internamente y fueron separados eliminando la presión por cromatografía frontal en el equipo, finalmente se utilizó la conductividad térmica como detector y acetanilida como compuesto de calibración.

P, K, S totales

1. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X (LFRX-LUGIs) del Instituto de Geología. Se tomaron 4 g de muestra pulverizada y se adicionaron 0.4 g de cera-C (Hoechst) como agente aglutinante para obtener una mezcla con relación 10:1.

2. Cada mezcla se prensó en tabletas a 30 toneladas sosteniendo la presión durante 30 segundos en una prensa marca Graseby/Specac y con un dado de 4 cm de diámetro.
3. La cuantificación se realizó por fluorescencia de rayos X (FRX) en un espectrofotómetro secuencial de rayos X (Siemens SRS 3000).
4. Controles de calidad: Cada 5 lecturas se realizaron duplicados de las muestras, el equipo se calibró con 5 estándares certificados (CRM100 hojas de haya, CRM101 hojas de oyamel, SRM1547 hojas de durazno, GBW07604 té, IAEA V10 heno) y se utilizó una muestra certificada de hoja de espinaca, SRM1570a, como muestra patrón.

Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B totales

1. La predigestión y digestión se realizaron en la UNAAMB de la Facultad de Ciencias. Para la predigestión se pesaron 0.2 g de cada muestra foliar pulverizada en una balanza analítica (Mca. Ohaus), la muestra pesada se vertió en vasos de teflón al cual se adicionaron 5 ml de ácido nítrico (HNO₃, 69%), 1 ml de peróxido de hidrógeno (H₂O₂, 30%) y 0.5 ml de ácido fluorhídrico (HF 48%); los vasos se agitaron manualmente cada 15 min para evitar el burbujeo y pérdida de muestra.
2. Todas las muestras se sometieron a digestión ácida en un horno de microondas (marca CEM modelo MARS-X). Las condiciones bajo las cuales se operó el horno de microondas para la digestión se muestran a continuación:

Tabla 22. Condiciones del horno de microondas para la digestión de muestras de hojas de mango.

Etapa	Potencia (W)	Potencia (%)	Presión (psi)	Tiempo rampeo (min)	Temperatura (°C)	Mantenimiento (min)
1	1200	100	300	10	150	0
2	1200	100	300	5	175	5
3	1200	100	300	5	185	2

3. Cada lote de muestras digeridas incluyó seis muestras de hojas de mango y sus duplicados, un material de referencia (Hoja de espinaca, SRM1570a) y un blanco.
4. Una vez terminada la digestión, los vasos se dejaron enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente (aproximadamente 25°C). Se les agregó 0.5 ml de ácido bórico (H₃BO₃ saturado) y se vertieron los digestos en frascos de plástico para adicionarles agua desionizada y llegar a un peso de 20 g. Se repitieron las predigestiones y digestiones para analizar el micronutriente B al cual no se le agregó ácido bórico saturado.
5. Las muestras líquidas se filtraron con membranas de nitrocelulosa (Millipore) con una porosidad de 0.22 µm. De cada muestra se tomó una alícuota de 5 g y se aforó a 50 g con agua desionizada. Las muestras se almacenaron en recipientes de polietileno y se mantuvieron a temperatura ambiente para la cuantificación.
6. Los nutrientes de las muestras vegetales se determinaron por medio de ICP-MS en el Laboratorio de Físicoquímica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Todos los elementos se cuantificaron por este método excepto el calcio que fue analizado por espectrometría de absorción atómica-flama en el mismo instituto.

Anexo 2

a) Condiciones establecidas para características edáficas y nutrimentos disponibles en suelo de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000

Tabla 23. Condiciones e intervalos para cada variable edáfica de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000.

Variable*	NOM-021-RECNAT-2000	Variable	NOM-021-RECNAT-2000
C/N	8 a 14 adecuada 10 óptima	% materia orgánica	<0.5 muy bajo 0.6-1.5 bajo 1.6-3.5 medio 3.6-6.0 alto >6.0 muy alto
Conductividad eléctrica dS m ⁻¹	<1.0 efectos despreciables de la salinidad 1.1-2.0 muy ligeramente salino 2.1-4.0 moderadamente salino 4.1-8.0 suelo salino 8.1-16.0 fuertemente salino >16.0 muy fuertemente salino	pH	<5.0 Fuertemente ácido 5.1-6.5 Moderadamente ácido 6.6-7.3 Neutro 7.4-8.5 Medianamente alcalino >8.5 Fuertemente alcalino
Densidad aparente g cm ⁻³	<1.0 orgánicos y volcánicos 1.0 a 1.19 arcillosos 1.20 a 1.32 francosos >1.32 arenosos	% N	<0.05 muy bajo 0.05-0.10 bajo 0.11-0.15 medio 0.16-0.25 alto >0.25 muy alto
P mg kg ⁻¹	<15 bajo 15-30 medio >30 alto	K cmol(+) kg ⁻¹	<0.2 muy bajo 0.20-0.30 bajo 0.31-0.60 medio >0.6 alto
Ca cmol(+) kg ⁻¹	<2 muy bajo 2-5 bajo 6-10 medio >10 alto	Mg cmol(+) kg ⁻¹	<0.5 muy bajo 0.5-1.3 bajo 1.31-3.0 medio >3.0 alto
SO ₄ mg kg ⁻¹	<10ppm bajo >70 alto	Fe mg kg ⁻¹	<2.5 deficiente 2.5-4.5 marginal >4.5 adecuado >140 exceso
Mn mg kg ⁻¹	<1.0 deficiente >1.0 adecuado >80 exceso	Zn mg kg ⁻¹	<0.5 deficiente 0.5-1.0 marginal >1.0 adecuado >10 exceso
Cu mg kg ⁻¹	<0.2 deficiente >0.2 adecuado >10 exceso	B mg kg ⁻¹	<0.39 muy bajo 0.39-0.79 bajo 0.80-1.29 medio 1.30-2.10 medio-alto >2.10 alto

* C/N (Porta *et al.*, 2003), SO₄ (Sánchez, 1981), intervalos en exceso para Fe, Zn, Cu (Silanpaa, 1982), Mn (Dominguez, 1997).

b) ANOVAs y pruebas post-hoc Tukey para características del suelo

Tukey HSD, diferencia significativa honesta, para n desiguales. San Francisco (1), Las Tamacuas (2), Joluta-El Atracadero (3) y El Limón (4)

Univariate Tests of Significance for C/N (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	195.5392	1	195.5392	4519.425	0.000000	
localidades	0.3869	3	0.1290	2.981	0.064853	
Error	0.6490	15	0.0433			

Unequal N HSD; variable C/N (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = .04327, df = 15.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	3.4062	3.3680	3.2030	3.0407
2	2	0.991169	0.991169	0.528954	0.103297
3	3	0.528954	0.682290	0.682290	0.161248
4	4	0.103297	0.161248	0.692954	0.692954

Univariate Tests of Significance for CE (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	2275.648	1	2275.648	505.5736	0.000000	
localidades	147.704	3	49.235	10.9383	0.000462	
Error	67.517	15	4.501			

Unequal N HSD; variable CE (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = 4.5011, df = 15.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	13.035	14.291	10.296	6.7878
2	2	0.786338	0.786338	0.299973	0.004234
3	3	0.299973	0.075066	0.075066	0.000959
4	4	0.004234	0.000959	0.133361	0.133361

Univariate Tests of Significance for %MO (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	39.88830	1	39.88830	953.0301	0.000000	
localidades	0.84738	3	0.28246	6.7487	0.004802	
Error	0.58596	14	0.04185			

Unequal N HSD; variable %MO (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = .04185, df = 14.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	1.5261	1.7967	1.4881	1.1807
2	2	0.203493	0.203493	0.993399	0.125382
3	3	0.993399	0.190411	0.190411	0.004028
4	4	0.125382	0.004028	0.192977	0.192977

Univariate Tests of Significance for pH (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	122.7115	1	122.7115	55465.79	0.000000	
localidades	0.0920	3	0.0307	13.87	0.000178	
Error	0.0310	14	0.0022			

Unequal N HSD; variable pH (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = .00221, df = 14.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	2.6764	2.6863	2.6437	2.5026
2	2	0.986918	0.986918	0.761074	0.000817
3	3	0.761074	0.589505	0.589505	0.000559
4	4	0.000817	0.000559	0.004156	0.004156

Univariate Tests of Significance for pHKCl (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	105.2146	1	105.2146	43440.12	0.000000
localidades	0.1844	3	0.0615	25.37	0.000010
Error	0.0315	13	0.0024		

Unequal N HSD; variable pHKCl (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = .00242, df = 13.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	2.5733	2.5984	2.4985	2.3275
2	2	0.887082	0.887082	0.188821	0.000230
3	3	0.188821	0.056115	0.056115	0.000209
4	4	0.000230	0.000209	0.001561	

Univariate Tests of Significance for %arcillas (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	235.8480	1	235.8480	2491.477	0.000000
localidades	3.9512	3	1.3171	13.913	0.000175
Error	1.3253	14	0.0947		

Unequal N HSD; variable %arcillas (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = .09466, df = 14.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	3.7903	4.0264	4.0508	2.8360
2	2	0.703849	0.703849	0.638362	0.003197
3	3	0.638362	0.999515	0.999515	0.000593
4	4	0.003197	0.000593	0.000521	

Univariate Tests of Significance for %limos (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	324.5078	1	324.5078	3463.332	0.000000
localidades	1.4753	3	0.4918	5.248	0.012319
Error	1.3118	14	0.0937		

Unequal N HSD; variable %limos (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = .09370, df = 14.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	4.4859	4.4836	4.3503	3.7699
2	2	0.999999	0.999999	0.921840	0.023768
3	3	0.921840	0.925410	0.925410	0.024256
4	4	0.023768	0.024256	0.075226	

Univariate Tests of Significance for %arenas (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1242.553	1	1242.553	25125.82	0.000000
localidades	1.599	3	0.533	10.78	0.000620
Error	0.692	14	0.049		

Unequal N HSD; variable %arenas (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = .04945, df = 14.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	8.2004	8.1209	8.2292	8.8905
2	2	0.940793	0.940793	0.899608	0.003186
3	3	0.899608	0.899608	0.899608	0.001342
4	4	0.003186	0.001342	0.004439	

Univariate Tests of Significance for DA (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	28.94378	1	28.94378	30318.44	0.000000
localidades	0.00561	3	0.00187	1.96	0.166725
Error	0.01337	14	0.00095		

c) ANOVAs y pruebas post-hoc Tukey en nutrientes disponibles en el suelo

Tukey HSD, diferencia significativa honesta, para n desiguales. San Francisco (1), Las Tamacuas (2), Jolota-El Atracadero (3) y El Limón (4)

Univariate Tests of Significance for N (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	18583.04	1	18583.04	1054.363	0.000000
localidades	405.10	3	135.03	7.661	0.002461
Error	264.37	15	17.62		

Unequal N HSD; variable N (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = 17.625, df = 15.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	33.051	0.322741	0.969133	0.046342
2	2	0.322741		0.219258	0.002220
3	3	0.969133	0.219258		0.105011
4	4	0.046342	0.002220	0.105011	

Univariate Tests of Significance for P (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	197.5324	1	197.5324	104.5069	0.000000
localidades	45.3824	3	15.1275	8.0034	0.002030
Error	28.3521	15	1.8901		

Unequal N HSD; variable P (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = 1.8901, df = 15.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	3.4632	0.084814	0.699490	0.224265
2	2	0.084814		0.018082	0.003025
3	3	0.699490	0.018082		0.790503
4	4	0.224265	0.003025	0.790503	

Univariate Tests of Significance for K (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	15.77901	1	15.77901	1751.677	0.000000
localidades	0.06211	3	0.02070	2.298	0.119065
Error	0.13512	15	0.00901		

Univariate Tests of Significance for S (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	413.0982	1	413.0982	1266.452	0.000000
localidades	10.8725	3	3.6242	11.111	0.000683
Error	4.2404	13	0.3262		

Unequal N HSD; variable S (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = .32619, df = 13.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	5.8572	0.998480	0.006064	0.028995
2	2	0.998480		0.004552	0.022499
3	3	0.006064	0.004552		0.988454
4	4	0.028995	0.022499	0.988454	

Univariate Tests of Significance for Ca (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	153.8699	1	153.8699	376.1860	0.000000
localidades	6.4323	3	2.1441	5.2419	0.012372
Error	5.7264	14	0.4090		

Unequal N HSD; variable Ca (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = .40903, df = 14.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	2.9457	0.152483	0.963916	0.414330
2	2	0.152483		0.102826	0.013156
3	3	0.963916	0.102826		0.684485
4	4	0.414330	0.013156	0.684485	

Univariate Tests of Significance for Mg (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	33.98916	1	33.98916	561.8155	0.000000	
localidades	1.17173	3	0.39058	6.4560	0.006523	
Error	0.78648	13	0.06050			

Univariate Tests of Significance for Mn (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	487.3403	1	487.3403	845.4380	0.000000	
localidades	18.6387	3	6.2129	10.7781	0.000784	
Error	7.4937	13	0.5764			

Unequal N HSD; variable Mg (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)						
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests						
Error: Between MS = .06050, df = 13.000						
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}	
1	1	1.5399	1.8991	1.2410	1.2464	
2	2	0.146395	0.146395	0.471718	0.486533	
3	3	0.471718	0.027085	0.028430	0.999993	
4	4	0.486533	0.028430	0.999993		

Unequal N HSD; variable Mn (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)						
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests						
Error: Between MS = .57644, df = 13.000						
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}	
1	1	4.5555	4.5302	5.9840	7.0061	
2	2	0.999963	0.999963	0.147656	0.002745	
3	3	0.147656	0.138126	0.138126	0.002537	
4	4	0.002745	0.002537	0.387423		

Univariate Tests of Significance for Fe (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	596.1313	1	596.1313	607.1120	0.000000	
localidades	12.8046	3	4.2682	4.3468	0.023144	
Error	13.7468	14	0.9819			

Univariate Tests of Significance for Zn (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	44.70994	1	44.70994	838.7621	0.000000	
localidades	2.87522	3	0.95841	17.9798	0.000031	
Error	0.79957	15	0.05330			

Unequal N HSD; variable Fe (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)						
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests						
Error: Between MS = .98191, df = 14.000						
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}	
1	1	5.6643	6.7601	4.4579	6.2806	
2	2	0.337112	0.337112	0.349551	0.815387	
3	3	0.349551	0.024793	0.901436	0.086719	
4	4	0.815387	0.901436	0.086719		

Unequal N HSD; variable Zn (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)						
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests						
Error: Between MS = .05330, df = 15.000						
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}	
1	1	1.7186	2.1108	1.3526	1.0429	
2	2	0.071994	0.071994	0.156903	0.004445	
3	3	0.156903	0.001744	0.001744	0.000222	
4	4	0.004445	0.000222	0.270523		

Univariate Tests of Significance for B (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	28.03515	1	28.03515	4201.457	0.000000	
localidades	0.02756	3	0.00919	1.377	0.290659	
Error	0.09342	14	0.00667			

Univariate Tests of Significance for Cu (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	42.30518	1	42.30518	756.0171	0.000000	
localidades	3.82039	3	1.27346	22.7575	0.000019	
Error	0.72745	13	0.05596			

Unequal N HSD; variable Cu (suelos_raizcuadrada_sin_aberrantes_dixon.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = .05596, df = 13.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	1.7483	2.2673	1.4448	.98928
2	2	0.019119		0.004637	0.000211
3	3	0.427019	0.004637		0.135117
4	4	0.002870	0.000211	0.135117	

d) Prueba U de Mann-Whitney entre muestreos en nutrientes foliares

Grupo 1 (mayo-junio), grupo 2 (octubre-noviembre)

Mann-Whitney U Test (hojaspruebat.sta)										
By variable salida										
Marked tests are significant at p < .05000										
variable	Rank Sum Group 1	Rank Sum Group 2	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N Group 1	Valid N Group 2	2*1sided exact p
P	321.0000	420.0000	131.0000	-1.44514	0.148420	-1.44514	0.148420	19	19	0.154176
K	380.0000	361.0000	171.0000	0.27735	0.781511	0.27735	0.781511	19	19	0.795115
S	308.5000	432.5000	118.5000	-1.81007	0.070285	-1.81017	0.070270	19	19	0.069956
Ca	390.0000	351.0000	161.0000	0.56930	0.569155	0.56930	0.569155	19	19	0.583204
Mg	386.0000	355.0000	165.0000	0.45252	0.650896	0.45252	0.650896	19	19	0.665017
Fe	477.0000	189.0000	18.0000	4.55596	0.000005	4.55596	0.000005	18	18	0.000000
Mn	392.0000	349.0000	159.0000	0.62769	0.530209	0.62769	0.530209	19	19	0.544096
Zn	409.0000	332.0000	142.0000	1.12400	0.261015	1.12400	0.261015	19	19	0.270713
Cu	318.0000	423.0000	128.0000	-1.53272	0.125345	-1.53272	0.125345	19	19	0.130083

e) Intervalos adecuados de nutrientes foliares

Tabla 24. Intervalos adecuados de nutrientes foliares en *M. indica* obtenidos de la moda de la Tabla 9.

Nutriente	Intervalos adecuados
N %	1.00-1.50
P %	0.10-0.25
K %	0.30-1.20
Ca %	2.00-3.50 ácidos 3.00-5.00 alcalinos
Mg %	0.20-0.50
S %	0.15-0.35
Fe mg kg ⁻¹	50-200
Mn mg kg ⁻¹	50-250
Zn mg kg ⁻¹	20-125
Cu mg kg ⁻¹	10-50
B mg kg ⁻¹	25-100

f) ANOVAs y pruebas post-hoc Tukey en nutrimentos foliares

Tukey HSD, diferencia significativa honesta, para n desiguales. San Francisco (1), Las Tamacuas (2), Joluta-El Atracadero (3) y El Limón (4)

Univariate Tests of Significance for N (hojas1_raizcuadrada_sin_aberrantes.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	207966.1	1	207966.1	4510.997	0.000000
localidades	81.2	3	27.1	0.587	0.633500
Error	645.4	14	46.1		

Analysis of Variance (homogeneidad_normalidad_hojas_localidadesjuntas.sta)												
Marked effects are significant at p < .05000												
Variable	SS	df	MS	SS	df	MS	F	p	Welch df	Welch df	Welch F	Welch p
Effect	Effect	Effect	Effect	Error	Error	Error			Effect	Error		
P	1848.063	3	616.0211	1110.392	33	33.64823	18.30768	0.000000	3	17.58819	24.45493	0.000002

Unequal N HSD; Variable: P (homogeneidad_normalidad_hojas_localidadesjuntas.sta)					
Marked differences are significant at p < .05000					
localidades	{1}	{2}	{3}	{4}	
	M=29.597	M=40.447	M=27.296	M=20.668	
1 {1}		0.001216	0.856892	0.020753	
2 {2}	0.001216		0.000539	0.000163	
3 {3}	0.856892	0.000539		0.122304	
4 {4}	0.020753	0.000163	0.122304		

Univariate Tests of Significance for K (homogeneidad_normalidad_hojas_localidadesjuntas.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	214478.0	1	214478.0	5038.896	0.000000
localidades	1580.4	3	526.8	12.376	0.000015
Error	1362.1	32	42.6		

Unequal N HSD; variable K (homogeneidad_normalidad_hojas_localidadesjuntas.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = 42.564, df = 32.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	83.405	81.478	80.284	66.198
2	2	0.922907	0.922907	0.774674	0.000205
3	3	0.774674	0.982987	0.982987	0.000421
4	4	0.000205	0.000421	0.000911	

Univariate Tests of Significance for S (homogeneidad_normalidad_hojas_localidadesjuntas.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	51718.44	1	51718.44	11587.03	0.000000
localidades	246.06	3	82.02	18.38	0.000000
Error	151.76	34	4.46		

Unequal N HSD; variable S (homogeneidad_normalidad_hojas_localidadesjuntas.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = 4.4635, df = 34.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	40.515	39.337	34.577	35.276
2	2	0.601901	0.601901	0.000172	0.000261
3	3	0.000172	0.000550		0.002823
4	4	0.000261	0.002823	0.910642	

Univariate Tests of Significance for Ca (homogeneidad_normalidad_hojas_localidadesjuntas.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1166896	1	1166896	5325.200	0.000000
localidades	1505	3	502	2.289	0.096027
Error	7450	34	219		

Unequal N HSD; variable Ca (homogeneidad_normalidad_hojas_localidadesjuntas.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = 219.13, df = 34.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	184.68	181.76	176.88	167.77
2	2	0.970774	0.970774	0.719282	0.121800
3	3	0.719282	0.911782	0.911782	0.251575
4	4	0.121800	0.251575	0.612236	

Univariate Tests of Significance for Mg (homogeneidad_normalidad_hojas_localidadesjuntas.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	54333.86	1	54333.86	1903.673	0.000000
localidades	99.62	3	33.21	1.163	0.338891
Error	913.33	32	28.54		

Univariate Tests of Significance for Fe (homogeneidad_normalidad_hojas_localidadesjuntas.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3891.479	1	3891.479	793.6332	0.000000
localidades	122.631	3	40.877	8.3365	0.000328
Error	152.005	31	4.903		

Unequal N HSD; variable Fe (homogeneidad_normalidad_hojas_localidadesjuntas.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = 4.9034, df = 31.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	13.896	10.669	9.1564	10.073
2	2	0.013821	0.013821	0.004435	0.014817
3	3	0.004435	0.641661	0.641661	0.957532
4	4	0.014817	0.957532	0.889806	0.889806

Univariate Tests of Significance for Mn (homogeneidad_normalidad_hojas_localidadesjuntas.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	13445.06	1	13445.06	814.2971	0.000000
localidades	2185.69	3	728.56	44.1253	0.000000
Error	544.87	33	16.51		

Unequal N HSD; variable Mn (homogeneidad_normalidad_hojas_localidadesjuntas.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = 16.511, df = 33.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	12.836	13.965	17.496	33.589
2	2	0.924747	0.924747	0.120253	0.000163
3	3	0.120253	0.320877	0.320877	0.000163
4	4	0.000163	0.000163	0.000163	0.000163

Univariate Tests of Significance for Zn (homogeneidad_normalidad_hojas_localidadesjuntas.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	588.3492	1	588.3492	1473.720	0.000000
localidades	7.6784	3	2.5595	6.411	0.001466
Error	13.5737	34	0.3992		

Unequal N HSD; variable Zn (homogeneidad_normalidad_hojas_localidadesjuntas.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = .39923, df = 34.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	4.5884	3.5227	4.2016	3.6545
2	2	0.003428	0.003428	0.616236	0.027571
3	3	0.616236	0.158474	0.158474	0.975177
4	4	0.027571	0.975177	0.323612	0.323612

Univariate Tests of Significance for Cu (homogeneidad_normalidad_hojas_localidadesjuntas.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	171.6255	1	171.6255	6131.713	0.000000
localidades	2.1574	3	0.7191	25.692	0.000000
Error	0.8957	32	0.0280		

Unequal N HSD; variable Cu (homogeneidad_normalidad_hojas_localidadesjuntas.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = .02799, df = 32.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	2.4496	2.1380	2.3978	1.8225
2	2	0.002274	0.002274	0.925066	0.000165
3	3	0.925066	0.019756	0.019756	0.003635
4	4	0.000165	0.003635	0.000165	0.000165

Univariate Tests of Significance for B (hojas1_raizcuadrada_sin_aberrantes.sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1060.507	1	1060.507	1864.912	0.000000
localidades	23.144	3	7.715	13.566	0.000268
Error	7.393	13	0.569		

Unequal N HSD; variable B (hojas1_raizcuadrada_sin_aberrantes.sta)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = .56866, df = 13.000					
Cell No.	localidades	{1}	{2}	{3}	{4}
1	1	9.1505	9.2574	7.7424	6.4152
2	2	0.997050	0.997050	0.151885	0.001128
3	3	0.151885	0.114088	0.114088	0.000856
4	4	0.001128	0.000856	0.187255	0.187255

Anexo 3

a) Porcentajes de recuperación de nutrientes edáficos y foliares

Tabla 25. Porcentajes de recuperación de nutrientes.

Nutriente	% Recuperación suelo Xico	% Recuperación hoja de espinaca SRM1570a (mayo-junio)	% Recuperación hoja de espinaca SRM1570a (octubre-noviembre)
N	-	-	-
P	118.17 ± 16.06 (6)	105.19 ± 4.96 (6)	105.19 ± 4.96 (6)
K	80.69 ± 23.35 (6)	120.79 ± 11.89 (6)	120.79 ± 11.89 (6)
S	-	107.43 ± 7.82 (6)	107.43 ± 7.82 (6)
Ca	97.98 ± 4.35 (5)	100.43 ± 5.17 (10)	85.50 ± 9.15 (5)
Mg	101.36 ± 8.25 (5)	72.98 ± 2.18 (10)	59.28 ± 4.35 (5)
Fe	100	-	-
Mn	100	111.09 ± 3.68 (10)	86.87 ± 2.28 (5)
Zn	100	80.32 ± 7.74 (4)	80.52 ± 0.96 (5)
Cu	100	88.04 ± 1.14 (10)	80.22 ± 0.63 (5)
B	98.39 ± 8.04 (5)	84.50 ± 18.46 (10)	-

Porcentaje promedio ± desviación estándar (n).

b) Valores obtenidos para cada muestra analizada a nivel foliar y edáfico

Tabla 26. Valores por muestra foliar en el muestreo mayo-junio.

Localidad	No.	N %	P %	K %	S %	Ca %	Mg %	Fe mg kg ⁻¹	Mn mg kg ⁻¹	Zn mg kg ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹	B mg kg ⁻¹
San Francisco	1	0.97 5.15	0.08	0.61	0.18	3.85 2.31	0.22 2.89	208.43 1.54	246.11 4.37	23.61 20.68	4.77 2.08	104.26 2.41
	2	1.21 1.99	0.07	0.75	0.15	4.51 21.39	0.10 15.44	273.73 23.87	47.63 14.34	17.57 4.51	4.75 11.06	78.40 127.38
	3	1.29 1.09	0.07 1.25	0.61 1.55	0.16 1.77	3.13 0.95	0.17 6.85	252.27 8.30	280.66 2.83	21.41 22.16	6.53 4.43	99.35 38.48
	4	1.26 1.51	0.08	0.79	0.15	3.47 0.68	0.18 2.60	200.24 4.74	167.37 3.36	15.83 21.65	5.96 6.19	85.79 6.91
	5	1.10 11.78	0.12	0.78	0.14	3.32 3.49	0.12 2.41	205.92 3.54	135.53 2.77	22.55 10.37	5.42 0.09	78.00 0.73
	6	1.34 9.03	0.09	0.87	0.15	2.98 2.81	0.26 1.42	278.28 0.00	447.50 2.99	15.00 12.93	4.48 7.08	57.91 37.64
Las Tamacuas	7	1.45 2.21	0.07 1.51	0.73 1.38	0.12 0.00	2.90 8.19	0.10 2.16	159.71 3.68	205.47 0.98	15.50 6.00	3.10 0.68	44.08 5.13
	8	1.14 2.90	0.26	0.62	0.16	4.88 0.75	0.16 2.79	192.83 3.05	345.92 2.75	13.26 18.31	3.36 2.28	75.01 10.36
	9	1.24 0.97	0.07 4.59	0.48 1.26	0.15 0.78	2.69 8.57	0.14 8.85	139.63 19.55	63.60 7.07	12.03 2.09	3.25 6.43	82.12 0.39
	10	1.20 0.17	0.19	0.85	0.17	3.33 0.52	0.18 4.72	137.07 1.52	396.82 3.12	12.75 4.51	5.06 1.60	92.68 14.52
	11	1.02 2.76	0.16	0.61	0.14	4.10 3.84	0.15 5.67	197.03 10.44	152.79 6.93	14.16 23.97	4.29 17.16	91.61 46.75
Joluta-El Atracadero	12	1.35 3.57	0.08	0.67	0.11	2.92 3.42	0.26 0.96	98.53 1.97	107.04 1.87	16.76 25.30	4.69 1.26	47.07 4.50
	13	1.31 1.60	0.07	0.61	0.11	4.35 4.48	0.11 6.41	1065.99 6.36	334.54 7.97	22.13 0.00	4.06 7.23	61.69 3.48
	14	1.18 4.16	0.05 2.73	0.63 0.68	0.10 0.29	3.00 7.89	0.13 4.33	112.31 3.37	426.26 2.93	18.03 0.00	4.36 12.50	70.80 1.93
	15	1.32 4.32	0.06	0.71	0.11	2.95 3.99	0.28 2.63	262.93 108.49	511.54 2.21	26.85 19.26	6.50 14.15	246.07 0.17
El Limón	16	0.97 0.62	0.03	0.39	0.10	2.78 1.48	0.10 9.95	300.82 10.82	165.99 8.85	14.37 0.00	3.47 8.06	42.38 19.70
	17	1.34 1.87	0.06	0.52	0.13	2.64 3.95	0.17 2.03	144.08 2.01	1133.54 1.32	20.93 0.00	3.01 2.22	33.04 8.64
	18	1.40 1.15	0.05	0.64	0.13	2.80 2.54	0.15 4.72	113.27 6.75	1319.85 4.51	13.90 0.00	3.05 1.36	36.43 8.94
	19	1.21 1.49	0.04	0.43	0.12	2.99 4.73	0.31 8.88	160.68 4.57	1535.73 7.82	20.56 42.39	2.53 0.12	51.97 10.90

Media y diferencia porcentual relativa (DPR). DPR superiores a 25% en negritas.

Tabla 27. Valores por muestra foliar en el muestreo octubre-noviembre.

Localidad	No.	P %	K %	S %	Ca %	Mg %	Fe mg kg ⁻¹	Mn mg kg ⁻¹	Zn mg kg ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹
San Francisco	1	0.09	0.65	0.18	3.42 4.29	0.17 0.55	131.06 1.34	208.82 1.06	22.53 23.64	4.85 3.33
	2	0.09	0.70	0.18	3.53 2.50	0.11 5.89	165.59 0.27	40.33 2.26	23.86 0.00	8.70 5.27
	3	0.08	0.65	0.16	3.19 7.59	0.21 9.39	113.94 2.95	209.74 11.96	23.36 0.00	6.60 7.97
	4	0.07	0.60	0.20	3.60 7.54	0.15 6.23	133.17 7.52	147.55 6.05	19.08 21.03	5.06 6.77
	5	0.21	0.67	0.14	3.43 9.13	0.15 5.44	103.55 10.80	111.84 3.20	18.19 18.03	5.87 0.24
	6	0.13	1.11	0.17	2.67 4.85	0.14 2.43	315.97 7.07	114.40 2.77	25.23 0.00	6.48 9.95
Las Tamacuas	7	0.27	0.60	0.15	3.17 12.27	0.14 0.44	52.87 14.29	227.24 4.67	7.15 5.45	3.49 5.60
	8	0.23 1.28	0.70 1.42	0.16 1.54	3.33 2.01	0.14 4.33	89.78 5.93	113.94 8.14	10.15 12.21	5.18 1.37
	9	0.09	0.64	0.16	2.95 4.93	0.23 2.03	78.89 4.38	210.36 1.68	21.08 0.00	7.22 4.27
	10	0.24 2.33	0.78 2.26	0.18 2.39	3.90 4.06	0.13 13.50	84.86 4.51	264.18 13.51	8.04 15.50	4.80 9.31
	11	0.16	1.20	0.16	2.18 21.51	0.12 16.74	56.58 15.43	95.23 24.68	7.98 14.65	4.39 19.54
Joluta-El Atracadero	12	0.09	0.51	0.14	3.48 8.28	0.17 7.42	76.00 2.60	96.56 6.01	21.89 14.59	5.80 31.38
	13	0.09	0.68	0.14	2.91 5.18	0.22 3.64	94.44 0.00	448.83 3.05	8.84 2.87	5.48 5.14
	14	0.10	0.80	0.12	2.47 2.46	0.15 1.84	57.28 3.19	340.87 2.51	9.68 15.83	6.12 4.32
	15	0.07	0.57	0.12	3.11 5.25	0.17 8.41	67.96 0.00	341.17 4.56	17.03 0.00	5.22 8.94
El Limón	16	0.04 0.47	0.40 0.58	0.13 0.15	2.51 17.37	0.16 23.59	80.89 16.88	1087.81 22.57	17.42 7.29	2.47 0.00
	17	0.04	0.26	0.11	3.13 17.53	0.14 19.57	62.85 19.51	843.57 17.89	5.44 17.73	2.03 13.29
	18	0.06	0.43	0.13	2.67 11.28	0.17 10.72	78.74 7.71	973.58 11.43	7.42 2.35	2.97 10.89
	19	0.04	0.49	0.14	3.01 17.72	0.14 3.49	84.87 12.83	1066.33 3.99	7.82 17.94	3.16 8.02

Media y DPR. DPR superiores a 25% en negritas.

Tabla 28. Valores por muestra edáfica.

Localidad	No.	C %	N %	C/N	MO %	CE $\mu\text{s cm}^{-1}$	pH H_2O	pH KCl	arcillas %	limos %	arenas %	DA ⁺ g cm^{-3}
San Francisco	1	1.30 12.51	0.12 9.76	10.59 11.14	2.25 12.51	165.50 3.02	6.70 0.90	6.30 0.08	13.70 0.00	19.82 0.00	66.48 0.00	1.11 13.47
	2	1.16 7.30	0.09 3.21	12.45 5.25	2.01 7.30	232.50 8.17	7.65 0.95	7.18 0.70	16.58 2.17	41.94 5.63	41.48 4.82	1.04 12.43
	3	0.91 4.63	0.09 10.53	10.61 7.58	1.56 4.63	148.50 2.02	6.70 2.36	5.88 1.24	12.68 4.42	21.57 2.50	65.75 1.67	1.12 13.02
	4	0.94 5.42	0.10 10.00	9.41 7.71	1.62 5.42	113.50 4.41	6.62 0.30	6.05 0.46	15.33 4.83	23.83 3.11	60.84 0.00	1.16 17.59
	5	2.16 7.32	0.18 3.92	12.09 5.62	3.72 7.32	276.50 9.04	6.71 0.48	6.28 0.03	16.28 12.29	14.92 31.64	68.80 3.95	1.21 8.61
	6	1.01 9.31	0.09 4.60	11.61 6.95	1.74 9.31	110.50 8.14	6.58 0.14	6.11 0.00	9.33 7.93	18.55 21.46	72.12 6.54	1.23 8.87
Las Tamacuas	7	0.80 9.55	0.10 6.12	8.12 7.84	1.37 9.55	97.00 0.00	6.10 0.31	4.89 0.80	15.33 4.83	20.65 15.01	64.02 3.69	1.35 11.15
	8	1.67 9.36	0.16 2.58	10.75 5.97	2.87 9.36	225.50 3.10	7.11 0.45	6.46 1.10	15.92 8.04	17.64 49.43	66.44 15.05	1.27 8.30
	9	2.75 2.98	0.20 0.98	13.48 1.98	4.74 2.98	304.50 2.30	6.83 1.86	6.28 0.02	11.70 0.00	20.00 1.80	68.30 0.53	1.21 15.58
	10	1.52 0.92	0.13 1.50	11.45 1.21	2.63 0.92	215.50 3.25	6.83 0.57	6.30 0.41	16.33 7.72	21.19 12.93	62.48 6.40	1.28 10.28
	11	1.43 2.94	0.13 1.50	10.75 2.22	2.47 2.94	206.50 5.33	6.74 0.24	5.98 0.07	15.28 0.00	18.64 28.33	66.08 7.99	1.08 22.07
Joluta-El Atracadero	12	1.52 12.06	0.13 1.52	11.50 6.79	2.62 12.06	137.50 2.18	6.60 0.61	5.81 0.10	16.56 0.00	22.00 18.18	61.44 6.51	1.02 11.14
	13	0.85 13.11	0.09 15.03	9.79 14.07	1.46 13.11	126.00 1.59	6.68 2.16	6.19 2.15	14.28 14.01	14.28 14.01	71.44 0.00	1.27 10.58
	14	0.73 3.03	0.09 5.78	8.38 4.41	1.25 3.03	72.50 6.90	6.42 6.09	5.40 0.63	17.96 11.14	11.56 121.11	70.48 17.03	1.23 27.92
	15	0.95 6.92	0.10 8.96	9.49 7.94	1.64 6.92	92.50 7.57	6.26 2.33	5.59 0.47	14.96 53.48	19.28 82.99	65.76 36.50	1.22 8.70
El Limón	16	0.56 22.86	0.06 18.49	9.34 20.67	0.96 22.86	47.00 4.26	6.02 2.89	5.21 1.07	5.33 13.88	12.19 26.74	82.48 4.85	1.25 13.42
	17	0.56 2.33	0.06 5.13	9.53 3.73	0.96 2.33	43.00 9.30	5.88 3.59	5.04 0.83	7.32 0.00	12.20 0.00	80.48 0.00	1.17 12.45
	18	0.53 5.28	0.07 1.46	7.74 3.37	0.91 5.28	50.00 28.00	5.70 0.58	4.68 0.60	10.96 0.00	14.20 0.00	74.84 0.00	1.21 7.76
	19	0.43 0.69	0.05 5.83	8.44 3.26	0.75 0.69	42.50 11.76	5.46 1.28	4.75 0.21	7.05 18.44	16.47 7.89	76.48 0.00	1.38 8.78

Media y DPR. Densidad aparente (n=10) y B (n=3) con desviación estándar relativa (DER); DPR y DER superiores a 25% en negritas; n.d. = no detectado.

Tabla 28. Continuación.

Localidad	No.	PO ₄ ⁻ mg kg ⁻¹	K ⁺ cmol(+) kg ⁻¹	SO ₄ ²⁻ mg kg ⁻¹	Ca ²⁺ cmol(+) kg ⁻¹	Mg ²⁺ cmol(+) kg ⁻¹	Fe ²⁺ mg kg ⁻¹	Mn ²⁺ mg kg ⁻¹	Zn ²⁺ mg kg ⁻¹	Cu ²⁺ mg kg ⁻¹	BO ₃ ⁺ mg kg ⁻¹
San Francisco	1	13.92	0.35	32.82	8.95	1.64	34.63	34.10	4.28	2.49	0.94
		13.22	5.45	7.30	2.17	6.82	13.40	5.13	5.66	7.35	6.57
	2	7.17	0.70	28.06	32.11	2.30	8.80	7.75	1.99	3.11	0.86
		5.02	1.90	0.00	5.75	25.82	12.77	2.60	0.83	6.01	6.95
	3	3.50	0.13	45.46	6.71	2.21	38.05	19.91	0.91	2.10	1.25
		2.00	10.29	5.66	2.79	0.47	9.67	3.10	25.68	2.72	9.18
4	3.11	0.19	29.64	6.64	1.42	26.19	21.17	2.13	0.85	1.49	
	13.50	20.29	0.00	2.82	8.70	5.48	5.73	4.26	6.71	17.22	
5	35.82	0.67	47.23	14.89	3.19	30.36	21.13	3.36	2.30	1.43	
	1.17	19.13	0.61	9.21	13.20	29.52	0.00	0.00	0.00	6.90	
6	17.88	0.13	23.00	5.14	0.82	29.35	22.11	2.64	2.84	1.67	
	0.78	0.00	0.00	1.19	7.52	13.29	7.58	10.01	2.55	15.70	
Las Tamacuas	7	28.10	0.42	33.60	12.48	2.53	48.12	52.89	3.14	5.12	0.98
		0.25	9.30	6.79	2.00	3.25	0.73	0.63	0.00	0.60	12.82
	8	66.02	0.81	32.22	18.49	3.34	36.86	17.91	4.36	5.11	0.93
		1.00	5.63	4.93	25.30	28.92	23.19	26.58	0.00	24.46	25.58
	9	9.93	0.52	113.22	13.66	2.75	69.96	21.32	4.90	7.10	0.96
2.12		2.49	6.89	3.65	3.00	0.00	27.88	12.14	23.95	5.59	
10	49.06	0.41	37.22	11.01	2.28	53.84	24.23	4.05	3.45	1.02	
	0.71	3.10	27.68	1.70	4.97	6.05	10.91	3.81	6.42	4.88	
11	22.84	0.42	35.36	17.18	4.91	24.00	17.03	3.44	2.94	1.19	
	0.66	0.02	12.51	1.09	3.35	20.25	0.93	8.56	5.19	10.17	
Joluta-El Atracadero	12	6.57	0.25	16.31	17.63	3.77	33.39	30.79	1.91	1.61	1.06
		4.26	0.05	0.00	5.70	12.04	6.80	1.06	0.00	0.95	4.74
	13	9.29	0.44	19.65	4.15	0.89	11.01	51.67	1.37	1.45	1.28
		17.44	1.47	49.34	4.54	5.81	21.01	4.82	0.00	4.48	23.25
14	3.01	0.34	14.17	3.40	1.00	11.76	97.02	1.08	1.71	1.37	
	16.31	5.78	26.91	9.30	6.31	10.10	0.05	8.17	2.23	7.80	
15	3.29	0.47	18.64	5.95	1.24	25.67	25.87	1.02	0.62	2.16	
	2.13	17.92	56.31	3.02	5.08	3.11	3.16	38.76	3.10	6.85	
El Limón	16	1.45	0.21	13.77	4.42	9.33	33.90	46.58	0.79	0.27	1.01
		4.84	39.42	8.01	11.34	6.53	0.00	0.29	0.00	13.89	14.68
	17	1.63	0.18	20.22	4.46	0.88	53.01	48.47	0.74	1.05	1.15
		9.23	0.02	38.62	1.42	15.23	3.50	0.64	16.67	9.11	10.45
18	1.85	0.25	21.68	6.52	1.89	29.32	48.68	0.34	0.72	1.26	
	22.70	0.05	0.00	2.92	4.95	1.27	0.56	50.61	2.11	6.29	
19	2.10	0.17	n.d.	2.77	0.54	41.50	50.65	0.51	0.03	1.19	
	3.34	14.97	-	2.15	2.00	3.38	4.72	33.60	13.33	10.94	

Media y DPR. Densidad aparente (n=10) y B (n=3) con desviación estándar relativa (DER); DPR y DER superiores a 25% en negritas; n.d. = no detectado.

c) Resultados obtenidos en huertas de mango (2000/2009)

Tabla 29. Valores promedio para la zona de estudio en la evaluación del 2000 y del 2009.

Variable	Estudio (2000) La Unión, Gro. y Lázaro Cárdenas, Mich. 14 localidades (57 huertas)				Estudio (2009) La Unión, Gro. 4 localidades (19 huertas)				Diferencias en métodos
	<i>San Francisco-El Naranjito</i> (5)	<i>La Zacatula-Las Tamacuas</i> (5)	<i>Joluta-El Atracadero</i> (4)	<i>El Limón-La Estancia</i> (4)	<i>San Francisco</i> (6)	<i>Las Tamacuas</i> (5)	<i>Joluta-El Atracadero</i> (4)	<i>El Limón</i> (4)	
C/N	11	11	10.5	8	11.13	10.91	9.79	8.76	En el 2000 el C se obtuvo por oxidación húmeda con K ₂ Cr ₂ O ₇ y determinación por absorción atómica; en el 2009 el C se obtuvo por el analizador elemental CNHS/O.
% materia orgánica	2.5	3.5	2.5	1.5	1.84	2.81	1.74	0.90	
conductividad eléctrica (dS m⁻¹)	0.25	0.13	0.08	0.10	0.18	0.21	0.11	0.05	
pH (H₂O)	7.0	6.8	6.7	6.5	6.66	6.72	6.49	5.77	
pH KCl	6.5	6.2	5.8	5.7	6.12	6.25	5.75	4.92	
textura	franco arenosa	franco arcillosa	franco arcillo arenosa	franco arenosa	franco arenosa	franco arenosa	franco arenosa	arenosa franca	En el 2000 se realizó en campo por prueba de tacto; en el 2009 en laboratorio con método del hidrómetro.
densidad aparente (g cm⁻³)	1.39	1.37	1.28	1.39	1.15	1.24	1.24	1.25	En el 2000 se determinó para algunos perfiles; en el 2009 para cada huerta.
N total %	0.13	0.18	0.12	0.10	0.10	0.14	0.10	0.06	En el 2000 se obtuvo por medio de una digestión con H ₂ SO ₄ concentrado y determinado por titulación; en el 2009 por el analizador elemental CNHS/O.
H₂PO₄⁻ mg kg⁻¹	20	40	15	5	9.12	35.19	5.54	1.75	
K⁺ cmol(+) kg⁻¹	0.70	0.65	0.32	0.32	0.36	0.52	0.38	0.20	
SO₄²⁻ mg kg⁻¹	30	40	17	27	34.37	34.60	17.19	18.56	
Ca²⁺ cmol(+) kg⁻¹	17	14	6	7	8.47	14.56	4.50	4.54	
Mg²⁺ cmol(+) kg⁻¹	4.2	3.0	1.5	1.0	1.93	3.16	1.04	1.10	

No se anexa medida de dispersión debido a que en el estudio del 2000 se utilizó error estándar de la media y en el 2009 desviación estándar, además, se desconoce el número de huertas consideradas para obtener la media en cada variable en el primer estudio.

Tabla 29. Continuación.

Variable	Estudio (2000) La Unión, Gro. y Lázaro Cárdenas, Mich. 14 localidades (57 huertas)				Estudio (2009) La Unión, Gro. 4 localidades (19 huertas)				Diferencias en métodos	
	<i>San Francisco-El Naranjito</i> (5)	<i>La Zacatula-Las Tamacuas</i> (5)	<i>Joluta-El Atracadero</i> (4)	<i>El Limón-La Estancia</i> (4)	<i>San Francisco</i> (6)	<i>Las Tamacuas</i> (5)	<i>Joluta-El Atracadero</i> (4)	<i>El Limón</i> (4)		
Suelos	Mn ²⁺ mg kg ⁻¹	30	30	50	40	21.03	20.12	36.11	48.60	
	Zn ²⁺ mg kg ⁻¹	2.0	6.0	0.9	0.7	2.55	3.98	1.35	0.60	
	Cu ²⁺ mg kg ⁻¹	2.4	3.7	0.7	1.0	2.28	4.74	1.59	0.68	
	H ₃ BO ₃ mg kg ⁻¹	0.38	0.41	0.31	0.29	1.27	1.02	1.23	1.16	En el 2000 se determino por espectrofotómetro; en el 2009 por ICP-MS.
Hojas	N %	1.30	1.35	1.50	1.25	1.19	1.21	1.29	1.23	En el 2000 por digestión con H ₂ SO ₄ concentrado y determinado por titulación; en el 2009 determinado por analizador elemental CNHS/O.
	P %	0.18	0.19	0.24	0.17	0.09	0.17	0.08	0.04	En el 2000 por digestión con HNO ₃ y ácido perclórico (HClO ₄) concentrado (2:1) y determinación por espectrofotómetro; en el 2009 por tabletas prensadas con cera-C (10:1) y determinación por FRX.
	K %	1.08	1.10	0.70	0.85	0.70	0.67	0.65	0.44	
	S %	0.15	0.15	0.12	0.13	0.16	0.16	0.12	0.12	
	Ca %	1.70	1.55	1.50	1.40	3.42	3.34	3.15	2.82	En el 2000 por tabletas prensadas con cera-C (10:1) y determinación por FRX; en el 2009 por digestión ácida en horno de microondas y determinación por absorción atómica (Ca) e ICP-MS (Mg).
	Mg %	0.17	0.19	0.22	0.20	0.16	0.15	0.19	0.15	
	Fe mg kg ⁻¹	100	60	50	100	198.51	118.92	84.42	103.62	En el 2000 por digestión con HNO ₃ y HClO ₄ concentrado (2:1) y determinación por absorción atómica, en el 2009 por digestión ácida en horno de microondas y determinación por ICP-MS
	Mn mg kg ⁻¹	100	150	250	425	155.45	207.56	325.85	1137.20	
	Zn mg kg ⁻¹	110	22	117	20	20.68	12.21	17.65	13.48	
	Cu mg kg ⁻¹	8.5	5.8	4.5	4.7	5.52	4.10	5.28	2.84	
B mg kg ⁻¹	25.0	19.5	28.0	20.0	83.95	77.10	59.85	40.96	En el 2000 por digestión con óxido de calcio (CaO) y determinación por espectrofotómetro, en el 2009 por digestión ácida en horno de microondas y determinación por ICP-MS.	

No se anexa medida de dispersión debido a que en el estudio del 2000 se utilizó error estándar de la media y en el 2009 desviación estándar, además, se desconoce el número de huertas consideradas para obtener la media en cada variable en el primer estudio.