

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**“VARIABILIDAD ESPACIAL DE DIVERSAS PROPIEDADES
QUÍMICAS DEL HUERTO FRUTÍCOLA DE LA FESC CAMPO
4/UNAM.”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

LICENCIADO EN QUÍMICA INDUSTRIAL

P R E S E N T A N :

JOSÉ ÁNGEL MASCORRO JUÁREZ

SILVIA REYES BADILLO

ASESOR: Q. CELIA ELENA VALENCIA ISLAS



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.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de pertenecer a la máxima casa de estudios del país, a través de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM) y de lo cual puedo sentirme muy orgulloso.

Gracias a nuestra asesora, la Q. Celia Elena Valencia Islas, por brindarme su confianza y amistad durante todos estos años, quien me es ejemplo de sencillez y calidad humana. Guío mi interés hacia el control ambiental aplicado a suelos y por su tiempo y paciencia asesorándonos en la realización de este trabajo de tesis.

A mis profesores, por compartir sus conocimientos, siempre con dedicación y paciencia.

Al Dr. Arturo Aguirre Gómez, por su colaboración en la obtención de las muestras del perfil del suelo, además de sus comentarios e ideas sobre este trabajo.

Al Ing. Adolfo Ochoa, por dar las facilidades para realizar el muestreo en capa arable en el huerto frutícola que está a su cargo.

Gracias, a los profesores que realizaron la revisión de este trabajo de tesis por los acertados comentarios y consejos.

A mis amigos, Alex's, Doris, Omar, Edmundo, Elsa, Diana, Vero, Angelica, Tamias, Blanca, Joel, Angel, Maura, Beatriz, Mary, Eli, Javier, Rodrigo, Roberto, Gris, Ivan, Maribel, Carl, Rolando, Felipe, Abel, Juan, Rosalia, Adrian, Daniel, ..., con quien compartí parrandas, aventuras y otras experiencias, por su amistad y apoyo en todo momento. Siempre los llevaré en mis recuerdos.

A ti, quien siempre estás a mi lado y vigilas mis pasos.... Gracias Señor.

DEDICATORIAS

A mi Abué, Delfina Gaviño Martínez,
por todos sus cuidados y cariño, a
sido muy importante en la creación
de mi persona.

A mis tíos, Eduardo, Ricardo,
Crescencio y Armando Juárez
Gaviño, por ser ejemplo de que con
trabajo, persistencia y honradez se
pueden hacer grandes cosas.

A la Familia Reyes Badillo, por
abrirme sus puertas y brindarme su
confianza.

A mis padres, Tomasa Juárez Gaviño y Lidio
Mascorro Granados, por todo su apoyo al
apoyarme al enfrentar mis errores y
permitirme al igual que mis hermanos tomar
mis propias decisiones.

A mis hermanos: Guadalupe, Dolores,
Omar y Erick Mascorro Juárez, quienes de
una u otra manera me motivaron a concluir
lo que con gran esfuerzo había iniciado.

A Silvia Reyes Badillo, por llegar en el
momento justo a mi vida, por darme un
nuevo panorama de la vida. Gracias por
todo tu apoyo.
Te amo.

A mis sobrinos:

*Donde hay voluntad, persistencia y dedicación hay un camino, dice
el viejo adagio, y en verdad ello es así, porque ¿que cosa podría
sustraerse al imperativo impulso y a la energía poderosa de la
voluntad, la persistencia y la dedicación.*

GRACIAS!!

Atte. José Ángel Mascorro Juárez

Dedicatorias

A Dios por guiar mis pasos y protegerlos, por iluminar mi vida y sobretodo por estar a mi lado.

A mi papá Sr. Mario Reyes:
Te agradezco tu infinito amor, tu tiempo, tu paciencia, por consentirme, por darme tanto y todo.

A mi mamá Sra. Silvia Badillo:
No solo me diste la vida sino que también me diste mucho de la tuya, gracias por estar siempre pendiente de mí pero dándome la libertad de ser y hacer lo que yo quería. Los amo.

A mis hermanos y cuñaos
Belem-José, Susy-Jaime, Memo-Monis, Paco-Pera, Ely-David:
Porque también me han consentido mucho, gracias por su apoyo, por sus consejos; tenemos momentos buenos, unos no tanto, pero porque siempre estamos juntos.

A Belle, Mario, Memin, Lulú, Pancho, Cesarion,
Alma, Laura, Ángel y Daely ***:
Sabes que los adoro, gracias por haber llegado a hacerme compañía y porque con ustedes he aprendido mucho.

A J. Antonio Mora:
Sabes que eres muy importante para mí, te quiero mucho y no hay nada más que quiera en el mundo que verte feliz. Yo sé que tu puedes!

A mi Ángel:
(entiéndase qué: Ángel no es su nombre, sino su oficio)
Gracias amor por tu compañía, por hacerme muy feliz y por todo tu apoyo.
Te amo.

A mis abuelos: Teresa, Francisco, Antonio y Flavia.

A mi Michita: te quiero... te extraño.

** Silvia*

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme haberme forjado en su casa.

Al Ing. Quim. Ind. (IPN) José de Jesús Piña Velasco:
Profesor a quien admiro mucho y recuerdo con cariño y quien realmente fue el causante de que yo tomara gusto por la Química.

A la profesora Celia Elena Valencia Islas:
Estimada maestra, gracias por todo su apoyo, por sus consejos no nada más en este trabajo y en lo académico, sino por escucharme, compartir alegrías y también momentos difíciles, simplemente por ser una gran amiga.

Al Ing. Ag. José Manuel Ochoa Ibarra:
Encargado del huerto frutícola de la FESC/UNAM quien otorgo las facilidades para la realización de este trabajo.

Al Dr. Arturo Aguirre G:
Por su apoyo, asesoría e interés en este trabajo.

Al Ing. Ag. Jorge Hernández:
Gracias por su colaboración en este trabajo y por compartir gratos momentos.

A los sinodales:
Dr. Frida León, M.E. Victoria Hernández, Q. Arcadia Hernández, M.E. Antonio García: por sus valiosos comentarios para el término y logro de este trabajo.

** Silvia*

INDICE

	Pág.
Introducción	1
Objetivos	3
Capítulo 1. Generalidades	4
1.1. Definición de suelo	4
1.2. La agricultura	5
1.2.1. Agricultura Tradicional	6
1.2.2. Agricultura Intensiva	6
1.2.3. Agricultura extensiva	7
1.2.4. Agricultura de precisión	7
1.3. Tipos de variabilidad en el suelo	10
1.3.1. Variabilidad espacial	10
1.3.2. Variabilidad temporal	10
1.3.3. Variabilidad predictiva	11
1.3.4. Mapa de variabilidad espacial	11
1.4. Importancia del análisis de muestras de suelo	11
Capítulo 2. Planeación metodológica	13
2.1. Planeación del muestreo	14
2.2. Recopilación de los datos de la zona de muestreo	14
2.2.1. Descripción geográfica de la zona	14
2.2.2. Ubicación de la FESC campo 4	15
2.2.3. Descripción y ubicación de la zona de estudio	16
2.2.4. Características climáticas de la zona	16
2.2.5. Características geológicas	17
2.3. Muestreo de suelo por medio de puntos georeferenciados	18
2.3.1. Ubicación de los puntos de muestreo	18
2.3.2. Procedimiento para el muestreo del suelo por medio de puntos georeferenciados	19
2.4. Toma de muestras de la capa arable	20
2.5. Toma de muestras en un perfil de suelo	21
2.5.1. Ubicación del perfil	21
2.5.2. Excavación del pozo	21
2.6. Manejo de muestras	23
2.6.1. Etiquetado	23
2.6.2. Tratamiento físico de las muestras	24
2.6.2.1. Secado	24
2.6.2.2. Molido	25
2.6.2.3. Tamizado	25
2.6.2.4. Almacenamiento	26
2.7. Determinaciones químicas	28
2.8. Importancia de las propiedades analizadas	28
2.8.1. El pH	28
2.8.2. Conductividad Eléctrica (CE)	29
2.8.3. Porcentaje de materia orgánica (% M.O.)	29
2.8.4. Calcio (Ca^{2+}) y Magnesio (Mg^{2+})	30
2.8.5. Sodio (Na^+) y Potasio (K^+)	31
2.8.6. Capacidad de intercambio catiónico total (C.I.C.T.)	32

	Pág.
Capítulo 3. Resultados.....	35
3.1 Resultados de la ubicación GPS de los puntos de muestreo del huerto frutícola.....	35
Tabla 1. Ubicación GPS de los puntos de muestreo.....	35
3.2 Resultados del análisis químico del suelo del huerto frutícola.....	38
Tabla 2. Resultados del análisis de pH real.....	38
Tabla 3. Resultados del análisis de pH potencial.....	39
Tabla 4. Resultados del análisis de conductividad eléctrica (C.E.).....	40
Tabla 5. Resultados del análisis de la determinación del porcentaje de materia orgánica.	41
Tabla 6. Resultados del análisis de la determinación de sodio intercambiable.	42
Tabla 7. Resultados del análisis de la determinación de potasio asimilable....	43
Tabla 8. Resultados del análisis de la determinación de calcio asimilable.....	44
Tabla 9. Resultados del análisis de la determinación de magnesio asimilable.	45
Tabla 10. Resultados del análisis de la determinación del porcentaje de la capacidad de intercambio catiónico total (CICT).....	46
Tabla 11. Resultados del análisis de la determinación de fósforo asimilable..	47
3.2. Resultados del análisis químico del perfil del suelo.....	48
Tabla 12 Resultados del perfil del suelo.....	48
3.3. Análisis estadístico descriptivo de los resultados.....	49
 Capítulo 4. Procesamiento de los datos obtenidos.....	 50
4.1. Elaboración de los mapas de variabilidad espacial.....	50
4.1.1. Sistema de información geográfica (SIG).....	50
4.1.2. Selección del software y materiales de apoyo.....	52
4.1.3. Elaboración de hojas de reporte.....	52
4.2. Elaboración de las gráficas de variabilidad del perfil de suelo.....	54
 Capítulo 5. Análisis de resultados.....	 55
Mapa 1. Ubicación de los puntos de muestreo en el huerto frutícola de la FESC - 4/UNAM.	56
Mapa 2. Ubicación de los puntos de muestreo en el huerto frutícola de la FESC - 4/UNAM.	56
5.1. Variabilidad espacial del pH real. (mapa 3).....	57
5.2. Variabilidad espacial del pH potencial (mapa 4).....	59
5.3. Variabilidad espacial de la conductividad eléctrica (mapa 5).....	61
5.4. Variabilidad espacial del porcentaje de materia orgánica (mapa 6).....	63
5.5. Variabilidad espacial de la concentración de sodio (mapa 7).....	65
5.6. Variabilidad espacial de la concentración de potasio (mapa 8).....	67
5.7. Variabilidad espacial de la concentración de calcio (mapa 9).....	69
5.8. Variabilidad espacial de la concentración de magnesio (mapa 10).....	71
5.9. Variabilidad espacial de la capacidad de intercambio catiónico total (C.I.C.T.) (mapa 11)	73
5.10. Variabilidad espacial de la concentración de fósforo (mapa 12).....	75
5.11 Gráficas de la variación de las propiedades químicas del perfil de suelo del huerto frutícola de la FESC C-4/UNAM.	78
5.12. Tablas de análisis de resultados e interpretación del perfil.....	79

	Pág.
Capítulo 6. Discusión de los resultados	85
Capítulo 7. Conclusiones	88
Anexo	89
Referencias	93

INDICE DE CUADROS E IMÁGENES

Cuadro a. Agricultura tradicional vs. Agricultura de precisión.....	8
Figura 1. Diagrama de flujo.....	13
Figura 2. Ubicación de la FES-Cuautitlán en la República Mexicana.....	15
Figura 3. Fotografía satelital de la zona de estudio en la FESC campo 4.....	16
Figura 4. Ubicación de puntos de muestreo con equipo GPS.....	20
Figura 5. Toma de muestras de la capa arable con pala recta.....	21
Figuras 6 y 7. Excavación de un pozo de muestreo y toma de muestras del perfil.....	22
Figura 8. Diagrama del manejo de muestras.....	23
Figura 9. Etiquetado.....	23
Figura 10. Secado de muestras de suelo.....	24
Figura 11. Molido de muestras con un mazo de madera.....	25
Figura 12. Tamizado de una muestra de suelo.....	26
Figura 13. Almacenamiento de muestras.....	26
Figura 14. Esquema de la hoja de reporte.....	53

Palabras clave:

Variabilidad
 espacial
 diversas
 propiedades
 químicas
 huerto
 frutícola
 FESC
 campo 4*
 UNAM

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas con los que se ha encontrado el hombre, y poco a poco lo ha resuelto gracias al desarrollo de la tecnología, es la manera de cómo obtener mayor cantidad de cosechas por superficie de terreno empleando fertilizantes, abonos y mejoradores, pero el uso inadecuado de estos pueden representar un gran costo económico en caso de no requerirlos el suelo, dando como resultado la alteración de la producción de cosechas, además de la contaminación accidental principalmente con metales pesados u otros compuestos químicos inorgánicos u orgánicos que alteren de forma negativa la naturaleza del suelo.

La fertilidad de terreno en el campo y los requerimientos de fertilizante y/o encalado son estimados a través del muestreo de suelos y su posterior análisis químico, proceso conocido como análisis de suelo. También, una de las formas de evitar adicionar cantidades excesivas de agroquímicos es llevar a cabo un análisis de suelos, a partir del cual se calculen las dosis exactas y las fuentes más adecuadas, aunque uno de los principales inconvenientes es que la aplicación se realiza de manera uniforme, sin considerar los aspectos locales del terreno, lo que ocasiona una variación en cada una de las propiedades físicas y químicas de suelo y que pueden influir en su estado de fertilidad.

La fertilidad del suelo no es constante en el espacio y el tiempo, así, cuando se realiza un análisis de suelo, además de la fertilidad global, otros factores como la profundidad y el momento de muestreo tienen un gran efecto sobre el resultado de la evaluación. Desde comienzos de la década de los 90's, comenzaron a desarrollarse tecnologías y principios para manejar la variabilidad espacial y temporal de los suelos, asociada con los aspectos de la producción agrícola, para mejorar los rendimientos y preservar la calidad ambiental. La variabilidad de suelo debe conocerse y ser de suficiente magnitud para llevar a cabo un manejo diferenciado por sitios que resulte en beneficio frente al manejo uniforme de todo el terreno.

En su plan de estudios, se considera al Químico Industrial del área ambiental como el profesional capaz de colaborar en el desarrollo, asimilación y transferencia de tecnología para el aprovechamiento integral y preservación de los recursos naturales del país, que puede diseñar y aplicar sistemas de control ambiental adecuados a los procesos existentes. Y que también colabora en la generación y el desarrollo de tecnología química

a escala de laboratorio y planta piloto, así como, realizar el control analítico de materias primas, productos en proceso y productos terminados.

El Químico Industrial del área ambiental, puede ser el enlace necesario entre el laboratorio y el campo, es un profesional capacitado para analizar, interpretar e investigar los factores químicos, físicos y biológicos para mejorar el rendimiento de los cultivos y la química de los procesos de transformación de los productos vegetales por la industria agroalimentaria entre otros para su consumo o utilización.

De acuerdo con lo anterior, en este trabajo proponemos un diseño de muestreo georeferenciado para la toma de muestras empleando un equipo GPS (sistema de posicionamiento global) y aplicando un SIG (sistema de información geográfica) para el manejo de los resultados. Este diseño servirá como modelo teórico y práctico para la elaboración de mapas que muestren gráficamente la variabilidad espacial de diversas propiedades químicas de un suelo de uso agrícola de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán campo 4, siendo beneficiados los profesionales de las áreas de Ingeniería Agrícola y los responsables de la producción del huerto frutícola para llevar a cabo su manejo, con las diversas ventajas que ofrece la aplicación de la agricultura de precisión. Además, el diseño propuesto puede ser aplicado por todos aquellos interesados en el área ambiental aplicada en suelos, para determinar su grado de contaminación por agentes químicos, lo relacionado al control ambiental y la remediación del suelo contaminado.

Objetivo General

- Mostrar a través de la elaboración de mapas y gráficas de variación, que las características químicas que le confieren aspectos de fertilidad al suelo, no se mantienen constantes sino que varían (a lo largo, ancho y profundo del terreno), lo que repercute en el manejo que se le dé para su aprovechamiento, mejoramiento y/o recuperación.

Objetivos Particulares

- Presentar a los alumnos y profesionistas de Química Industrial, aspectos teóricos del área agrícola que les auxilien a comprender la naturaleza y la importancia del suelo.
- Proponer un diseño de muestreo georeferenciado para la toma de muestras, empleando un equipo de GPS que sirva como modelo teórico y práctico para la elaboración de mapas que muestren gráficamente la variabilidad espacial de las propiedades químicas de un suelo.
- Elaborar mapas de variabilidad espacial de las diversas propiedades químicas de un suelo de uso agrícola de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán campo 4, los cuales podrán ser utilizados por profesionales de las áreas de Ingeniería Agrícola y los responsables de la producción del huerto frutícola para llevar a cabo su manejo.
- Observar a lo largo de un perfil del suelo, muestreado en el mismo sitio, la variación de las propiedades químicas de fertilidad por medio de la elaboración de gráficas.

- **Capítulo 1. Generalidades**

Definición de suelo²⁵

El suelo es un medio natural formado independientemente de la acción del hombre es un sistema muy complejo, producto de la naturaleza; es el resultado de fuerzas destructivas y constructivas y que sirve como soporte de las plantas, además de servir de despensa de agua y de otros elementos necesarios para el desarrollo vegetal. El suelo se puede considerar como un ente vivo en el que habitan gran cantidad de seres como pequeños animales, insectos y microorganismos (hongos y bacterias).

El suelo es un sistema abierto, dinámico, constituido por tres fases. La fase sólida está formada por los componentes inorgánicos y orgánicos, que dejan un espacio de huecos o poros (cámaras, galerías, grietas y otros) en el que se hallan las fases líquida (agua que puede llevar iones y sustancias en solución o suspensión) y gaseosa (principalmente oxígeno y dióxido de carbono). El volumen de huecos está ocupado principalmente por agua, por aire y por las raíces y organismos que viven en el suelo. Todos estos elementos le dan propiedades físicas, químicas y biológicas.

Para poder conocer la génesis y evolución de un suelo se puede observar su perfil, el cual es la exposición vertical de una porción superficial de la corteza terrestre hasta el límite de profundidad de las raíces de las plantas perennes, o hasta la del material rocoso relativamente inalterado y está integrado por capas aproximadamente paralelas a la superficie de la tierra, que son producto de la evolución del suelo y que poseen características físicas, químicas y biológicas propias. A cada capa individual se le conoce como horizonte y generalmente se distinguen entre si por diferencias en color, estructura, contenido de materia orgánica, etcétera.

Se puede hablar sobre la evolución del suelo, es decir, por el cambio de sus características debido a la acción de los diversos factores activos de formación como son el clima, presencia de animales, plantas y relieve. En un suelo sin cultivar no ha habido cambios ecológicos significativos, tendrá una evolución lenta y será muy diferente a cuando ha sido cultivado. El hombre puede acelerar, detener o modificar por completo esta evolución a través del uso y manejo que le da.³⁵

Las propiedades físicas de un suelo dependen fundamentalmente de su profundidad, su

textura (cantidad de arena, limo y arcilla) algunos suelos presentan en cantidades significativas otras partículas de mayor tamaño denominadas piedras, guijarros o gravillas); y de su estructura (acomodo de estas partículas minerales junto con la materia orgánica). La importancia de estas propiedades es muy grande, ya que de ellas depende el comportamiento del aire, del agua en el suelo y de la temperatura, y por lo tanto condicionan los fenómenos de aireación, de permeabilidad y de respiración radicular. Por otra parte, las propiedades físicas son más difíciles de corregir que las propiedades químicas, de ahí su importancia desde el punto de vista de la fertilidad de un suelo.

La composición química del suelo es muy variable de acuerdo a su génesis y su manejo, y esta condicionada a la relación que existe entre el pH y los principales elementos químicos que intervienen en la fertilidad que son: el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio y una serie de microelementos como boro, selenio, cobre, hierro, vanadio, manganeso, zinc, etc.

Además existen otras propiedades químicas que influyen directamente en la fertilidad del suelo, como son, la conductividad eléctrica, por medio de la cual se pueden detectar problemas de salinidad en el suelo, ya que reduce la calidad y la producción de cultivos; y la capacidad de intercambio catiónico total mediante de la cual puede determinarse la posibilidad de tener un depósito de iones nutritivos en el suelo a largo plazo. De ahí el interés para su estudio.¹²

El manejo adecuado de un suelo es necesario para poder preservar su fertilidad, obtener mejores resultados y respetar el medio ambiente. Por otro lado, es necesario analizar un suelo si queremos aprovecharlo adecuadamente y saber si el cultivo deseado se desarrollará en las condiciones que se tienen o será necesario aplicar algún mejorador, fertilizante o abono.¹⁶

1.1. La agricultura

Es el proceso para producir alimentos vegetales mediante el cultivo de ciertas plantas.²⁶

Desde 1950 la producción agrícola ha ido aumentando continuamente, a un ritmo que ha superado con creces al muy importante aumento de la población, hasta alcanzar una producción de calorías alimenticias que serían suficientes para toda la humanidad, si estuvieran bien repartidas.⁶

Este incremento se ha conseguido, principalmente, sin poner nuevas tierras en cultivo,

sino aumentando el rendimiento por superficie⁴², es decir consiguiendo mayor producción por cada hectárea cultivada. Es lo que se conoce como revolución verde.⁴³

Actualmente el aumento de productividad se ha conseguido con la difusión de nuevas variedades de cultivo de alto rendimiento, unido a nuevas prácticas de cultivo que usan grandes cantidades de fertilizantes, plaguicidas, tractores y otro tipo de maquinaria pesada.

1. 2. 1. Agricultura Tradicional²⁶

Es un sistema de producción basado en conocimientos y prácticas indígenas, que han sido desarrollados a través de muchas generaciones. Antiguamente se practicaba en los países del primer mundo y todavía se usa en amplias zonas del tercer mundo, en este tipo de agricultura no se pretende alimentar a todo un país sino a una familia que se dedica a esta práctica y los años en los que la cosecha ha sido abundante y les sobra es utilizado para vender. La energía que se utiliza aparte de la solar es la del esfuerzo del agricultor y de los animales que tenga a su disposición. Esto se hacía antes de una manera global pero ahora solamente es practicado en países subdesarrollados.

Las características de la agricultura tradicional son:

- Una prolongada experiencia empírica que ha conducido a configurar los actuales procesos de producción y las prácticas de manejo
- No se consigue gran productividad
- Los terrenos no suelen ser buenos y son duros de trabajar
- No hay uso de maquinaria
- Se utiliza agua y fertilizantes en abundancia
- Utilizan más de un tipo de cultivo para combatir las plagas

1. 2. 2. Agricultura Intensiva

En este tipo de agricultura se producen en cantidades inmensas un solo tipo de producto, es utilizada en países industrializados pues con estos cultivos se pretende alimentar a un país entero. Se requiere el excesivo uso de energía tanto solar como de combustibles como el petróleo y sus derivados, se aplican productos químicos como los fertilizantes tratados o los plaguicidas. Las características de la agricultura intensiva son:

- Se utiliza para aumentar la productividad
- Se cultivan un solo tipo de semillas
- Se cultiva en zonas planas con suelos ricos en nutrientes
- Se utiliza maquinaria que requiere combustible
- Con la aplicación de fertilizantes para aumentar la productividad
- Se utilizan plaguicidas contra insectos y funguicidas contra hongos que perjudiquen los cultivos
- Se utilizan cantidades enormes de energía

La agricultura intensiva ha permitido incrementar la productividad agrícola en el último siglo, asegurando al mismo tiempo una fuente estable de alimentos al tiempo que aumenta la población mundial y decrece la superficie necesaria.

Este sistema se sirve de las inversiones de capital y de trabajo con el fin de obtener la máxima cantidad de producción por unidad de superficie (hectárea). Utiliza todo el espacio disponible, es decir, es un cultivo continuo y la producción se destina al comercio.

1.2.3. Agricultura extensiva

Este tipo de agricultura practicada en grandes plantaciones con administración moderna. Enfocada en un producto y con beneficios y estrategias orientadas a la exportación y que se practica en grandes superficies de terreno. Este sistema no utiliza todos los recursos técnicos (capital) ni humanos (mano de obra) disponibles para obtener la máxima producción. La ocupación de la tierra es incompleta, es decir, se practica la rotación como técnica de cultivo y la producción puede ser destinada al mercado o al consumo familiar.

1.2. 4. Agricultura de precisión ²⁷

Es la utilización de herramientas modernas capaces de facilitar la obtención y análisis de datos georreferenciados, mejorando el diagnóstico, la toma de decisiones y la eficiencia en el uso de insumos para la mayor producción y sustentabilidad del ambiente productivo.

Agricultura de precisión³⁶ es un concepto agronómico basado en la existencia de variabilidad en campo, requiere el uso de nuevas tecnologías, tales como el sistema de posicionamiento global (GPS) de sus siglas en inglés Global Positioning System (ver anexo 1)³⁷, sensores, satélites e imágenes aéreas junto el sistema de información geográfica (SIG) para estimar, evaluar y entender dichas variaciones. La información recolectada puede ser usada para evaluar con mayor precisión las características físicas y químicas del suelo de cultivo, la densidad óptima de siembra, estimar fertilizantes y otras entradas necesarias, y predecir con más exactitud la producción de los cultivos. Ésta pretende evitar la aplicación de las mismas prácticas a un cultivo, sin tener en cuenta las condiciones locales de suelo y clima y puede ayudar a evaluar situaciones locales de enfermedad. La aplicación de conceptos de agricultura de precisión usualmente se considera relativa a la agricultura sostenible. La agricultura de precisión involucra la recolección de muestras de suelo y cultivo para obtener información sobre como varían las condiciones en el terreno.³⁸

La práctica de este método permite modificar las técnicas existentes para la evaluación de la fertilidad del suelo e incorpora otras nuevas tecnologías para producir un nuevo conjunto de materiales de apoyo (mapas de variabilidad, tablas de producción, etc.) a utilizar por los productores para la selección de semillas, manejo del suelo y aplicación de insumos.³⁶

Por tanto, la agricultura de precisión no es simplemente la habilidad de aplicar tratamientos distintos a escala local, sino que debe ser considerada como la habilidad para controlar con precisión los conocimientos suficientes para entender todos los procesos relacionados con la producción, de modo que puedan aplicarse los resultados obtenidos para lograr una meta determinada.³⁸

Cuadro a. Agricultura tradicional vs. Agricultura de precisión

En la aplicación de abonos

Agricultura Tradicional	Agricultura de Precisión
<ul style="list-style-type: none">La recolección de las muestras de suelo se realiza a través de la selección de puntos de muestreo elegidos siguiendo un diseño seleccionado por el personal que toma la	<ul style="list-style-type: none">Empleo de GPS para dividir el terreno según una rejilla, con celdas de tamaño determinado por el usuario, posibilitando el acceso preciso a un punto concreto de

<p>muestra y los cuales no se pueden localizar con exactitud nuevamente para realizar un seguimiento posterior de los mismos.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ La cantidad de abono a aplicar se determina por medio de la composición de diferentes muestras del suelo. Al final se hace una aplicación uniforme de lo que se cree una buena estimación de la cantidad apropiada, no se consideran las variaciones locales del terreno que modifican la concentración de nutrientes. 	<p>cada celda, recoger una muestra y aplicar el abono estimado para cada celda.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Empleo de fotografías aéreas. Éstas se digitalizan, georreferencian, y basándose en sus características se determina la cantidad de abono a aplicar en cada punto exacto del terreno. La cantidad de fertilizantes y abonos a aplicar se calcula por medio de la determinación de las propiedades físicas y químicas del terreno. ▪ Se elaboran mapas de variabilidad espacial para observar la distribución de las propiedades físicas, químicas, biológicas del suelo o la distribución de malezas, plagas, contaminantes, etc. de acuerdo al estudio que se considere necesario. ▪ A través de los mapas de variabilidad y localizando las zonas con diferentes necesidades de fertilizantes, abonos o mejoradores en el campo con ayuda del GPS se hará posteriormente la aplicación de la cantidad adecuada.
--	---

En mapas de rendimiento

Agricultura tradicional	Agricultura de precisión
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sólo es posible sospechar que unas zonas producen más que otras; un estudio detallado supondría un elevado esfuerzo y muchas horas de trabajo, por la gran cantidad de muestras que se requiere 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durante la cosecha, mediante la combinación de GPS y sensores de grano, es posible recopilar los datos necesarios para elaborar un mapa preciso y detallado del rendimiento del cultivo.

<p>colectar.</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Decidir si una zona del terreno produce por encima de los costos es una labor arriesgada.	<ul style="list-style-type: none">▪ Las técnicas de variabilidad temporal junto con los mapas de rendimiento y los costos variables permiten tomar una decisión adecuada acerca de qué zonas sería mejor no cultivar, ya que producen gastos no redituables.
--	--

Las características del suelo no solo varían en la distancia y profundidad, sino también varían con el tiempo. Algunas características del suelo son muy estables, y cambian muy poco a través del tiempo, como la textura. Otras características como el contenido de materia orgánica y la estructura cambian de acuerdo al manejo y el nivel de nitratos y contenido de humedad, pueden fluctuar rápidamente.⁴⁵

1.3. Tipos de variabilidad en el suelo⁴⁴

Los suelos generalmente no varían aleatoriamente en el espacio, sino que presentan diversos grados de dependencia espacial de acuerdo a los factores y procesos de formación que estuvieron involucrados en su génesis o durante su evolución. La variabilidad de un suelo agrícola se produce a través de las actividades de cultivo y por lo tanto, es el hombre el que influye de manera determinante en ella.

- ◆ Variabilidad espacial: se ocupa de los cambios a lo largo del terreno de cultivo
- ◆ Variabilidad temporal: muestra los cambios de un año a otro
- ◆ Variabilidad predictiva: discrepancia entre los valores predichos y los actuales

1.3.1. Variabilidad espacial

Se refiere a los cambios sufridos a lo largo y ancho del terreno de cultivo. Estos cambios pueden ser fácilmente vistos en un mapa, para lo cual se necesita recopilar datos en posiciones precisas. Los datos recopilados durante el muestreo y los resultados de los análisis de las muestras pueden ser presentados como un mapa de contorno, mostrando la variabilidad espacial de la zona muestreada.

1.3.2. Variabilidad temporal.

Es el resultado de comparar un determinado número de mapas del mismo terreno a

través de los años. Este tipo de variabilidad requiere también ser interpretada para obtener deducciones, pero aún así pueden obtenerse mapas de tendencias que muestren características esenciales.

1.3.3. Variabilidad predictiva

Está más relacionada con los errores de administración que con las características ecológicas y puede ser calculada midiendo la diferencia entre los valores esperados y los valores realmente logrados.

1.4. Mapa de variabilidad espacial

Es una herramienta que permite observar de forma gráfica como se encuentran distribuidas las diferentes propiedades a lo largo y ancho de un área, empleando para esto las coordenadas y la propiedad de cada punto.

La variación de cada propiedad se muestra en un mapa en tercera dimensión. La diferencia que hay entre los niveles altos y bajos se representa de las siguientes formas, ya sea:

- Formando montes y valles
- Áreas de colores de intensos a ligeros
- O la combinación de estas dos

Son de gran ayuda en diversas áreas de estudio, para identificar puntos específicos y la interacción con los puntos que lo rodean dentro de un área.

1.2. Importancia del análisis de muestras de suelo²⁵

El análisis del suelo es una etapa muy importante para dar una recomendación sobre el uso o rehabilitación del mismo, ya que permite cuantificar la cantidad de sus componentes

químicos y a partir de esto el productor puede llevar a cabo el cálculo de la cantidad de mejoradores o fertilizantes a emplear durante sus prácticas de cultivo.

Los motivos que justifican la realización de un análisis de suelos son para determinar:

- ¿Qué nutrientes hacen falta en el suelo?
- ¿Cuáles fertilizantes conviene usar?
- ¿Cuánto fertilizante debe aplicarse?

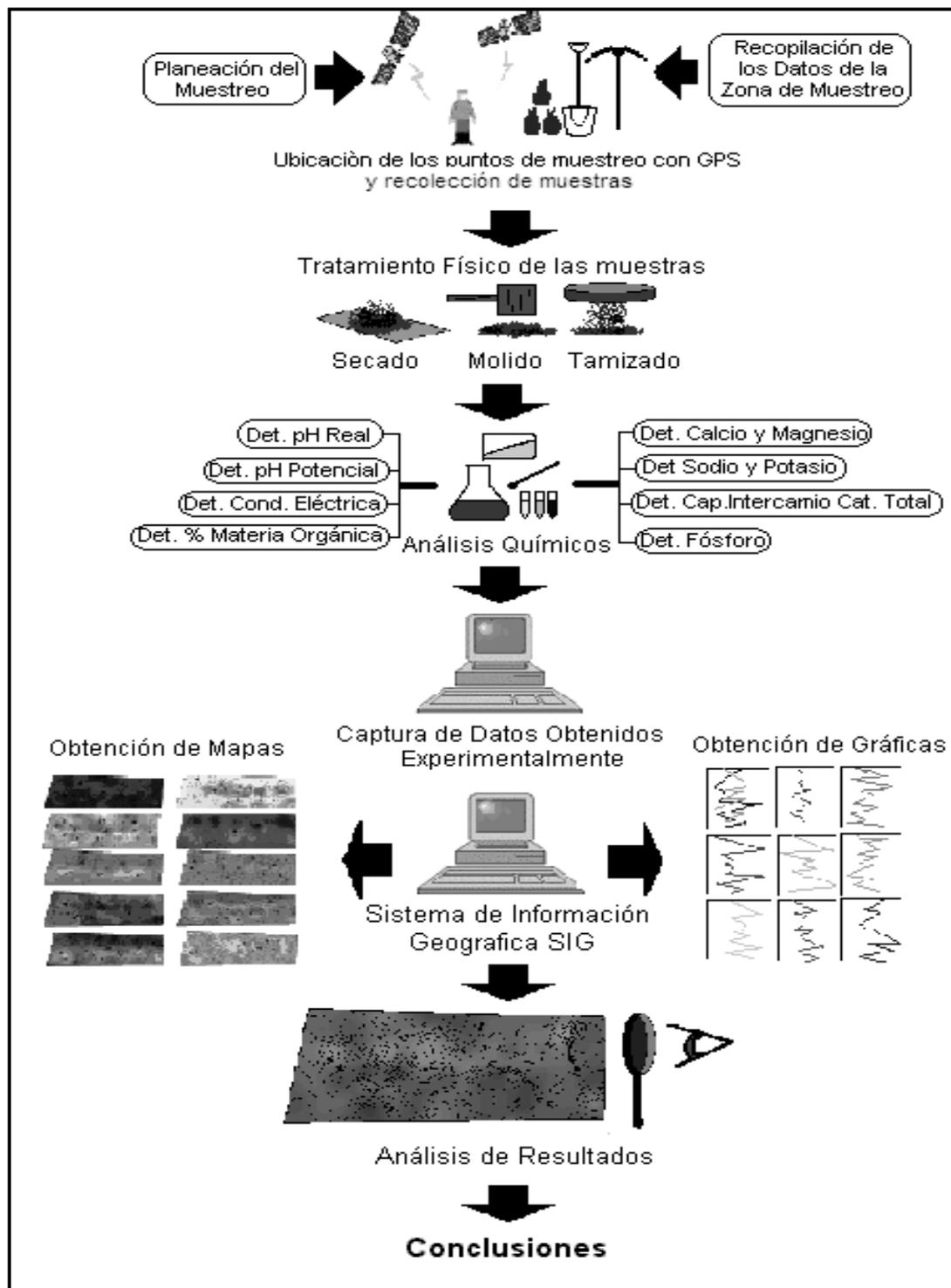
Para ello debe tomarse una muestra de su suelo y llevarla a analizar a un laboratorio, con lo que encontrará respuesta a estas interrogantes.

Los análisis físicos y químicos de muestras de suelos que se toman en un perfil a distancias regulares ayudan a su clasificación o se pueden emplear para observar cómo se distribuyen a lo largo del perfil sus propiedades físicas y para conocer si los compuestos químicos están de manera adecuada para que las raíces de las plantas puedan asimilarlos.³

Para lo anterior, se requiere de trabajo de laboratorio empleando diversas técnicas analíticas para el análisis de las muestras de suelo, del cual se pueden obtener valores numéricos que pueden ser graficados para conocer la variación de los nutrientes a lo largo del perfil del suelo y los cuales se expresan en términos de elementos asimilables o intercambiables.

Capítulo 2. Planeación metodológica

Diagrama de flujo



2.1. Planeación del muestreo²⁵

La planeación del muestreo consistió en la selección de la zona de muestreo mas adecuada por lo que se consideró conveniente realizar este tipo de trabajo en el huerto frutícola de la FESC/UNAM Campo 4, tomando en cuenta que existe un programa de investigación de suelos desde hace 26 años y que resultaría adecuado implementar en esta facultad la metodología planteada, para contribuir con la agricultura de precisión a través del desarrollo de nuevas tecnologías utilizando los recursos existentes como instalaciones del laboratorio para el tratamiento, y análisis de las muestras.

La selección del área de estudio se realizó con base a los siguientes aspectos:

- Se requería una zona con una extensión mínima de 4 hectáreas que es la recomendada para estudios de este tipo.
- Que tuviera uso agrícola de preferencia con cultivos perennes
- Que su manejo no fuera muy intensivo para que su variabilidad inducida fuera mínima a lo largo del estudio para que en el caso de requerir verificar algún dato de campo este no hubiera sido alterado por el manejo o el uso
- Que se tuviera información previa de las características físicas y químicas de los suelos de la zona

Por lo anterior, se eligió el huerto frutícola de la FESC/UNAM a cargo del Ing. Agrícola Adolfo José Manuel Ochoa Ibarra quién otorgó las facilidades para la recolección de las muestras de este trabajo de tesis.

2.2. Recopilación de los datos de la zona de muestreo

2.2.1. Descripción geográfica de la zona³⁴

El Municipio de Cuautitlán Izcalli se extiende aproximadamente dentro de las siguientes coordenadas geográficas, entre los 19°37" y los 19°45" de latitud norte y entre los 99°07" y los 99°14" de longitud oeste del meridiano de Green wich y limita, al sur, con el municipio de Tultitlán, al sureste, con Tultepec, al este con Melchor Ocampo, al norte con Teoloyucan, al noreste con Zumpango y al oeste con Tepotzotlán.



Figura 2. Ubicación de la FES-Cuautitlán en la República Mexicana

El ex-Rancho Almaraz "Campo 4" de la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México se encuentra ubicado en la cuenca del valle de México, al oeste de la cabecera del municipio de Cuautitlán, Izcalli Estado de México.

La altitud media que se reporta para la cabecera municipal, Cuautitlán de Romero Rubio y para el área de estudios es de 2250 metros sobre en nivel del mar.

2.2.2. Ubicación de la FESC campo 4 ¹⁵

Al norte del municipio de Cuautitlán de Romero Rubio sobre el km.2.5 de la Carretera Cuautitlán -Teoloyucan y perteneciente al Municipio de Cuautitlán Izcalli se encuentra la FESC campo 4.

Actualmente la superficie agrícola de la FESC está destinada a la producción de cultivos por parte del Centro de Enseñanza Agropecuaria (CEA) y a prácticas escolares de asignaturas pertenecientes a las carreras de Ingeniería Agrícola y Medicina Veterinaria y Zootecnia, así como para experimentos que forman parte de investigaciones, tesis,

semestres de campo y servicios sociales. Cuenta con una superficie de 1'153,266 m².



Figura 3. Fotografía satelital de la zona de estudio en la FESC campo 4.

2.2.3. Descripción y ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio corresponde a la parcela número 7 “huerto frutícola”. Con coordenadas GPS: Latitud Oeste: 99° 11”, Longitud Norte: 19° 41”. Se encuentra ubicada en el interior de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 4. Su elevación sobre el nivel del mar es de 2,254 metros tiene una extensión de 40771m², su equivalente 4.0771 ha. En el se encuentran árboles frutales de ciruelo, manzano, durazno y tejocote, además parte de el se tiene destinado para el se cultiva alfalfa. Se ha ubicado en este terreno una estación meteorológica.

2.2.4. Características climáticas de la zona ^{15,34}

De acuerdo con el sistema de Köppen, el clima para la región de Cuautitlán Izcalli corresponde al C(WO) (W) b(i') templado, el más seco de los subhúmedos, con régimen de lluvias de verano, e invierno seco (menos de 5% de la precipitación anual), con verano largo y fresco, con temperatura extremosa con respecto a su oscilación.

La temperatura media anual es de 15.7 C, con una oscilación media mensual de 6.5 C; siendo enero el mes más frío, con temperaturas promedio de 11.8 C, y junio el más caliente con 18.3 C. La temperatura máxima promedio es de 26.5 C, durante el mes de abril, seguido por mayo y junio. La temperatura mínima promedio es de 2.3 C en enero y 2.9 C en febrero, aunque se pueden presentar temperaturas bajo 0 C durante las noches o al amanecer en estos meses.

El promedio de horas-frío en esta zona oscila entre 800 y 820 al año; su mayor frecuencia se tiene en enero y la menor frecuencia en noviembre.

La zona de estudio presenta un régimen de lluvias de verano, concentrándose entre los meses de mayo a octubre, con invierno seco.

La precipitación media anual es de 605 mm, siendo julio el mes más lluvioso, con 128.9mm y febrero el mes más seco, con 3.8mm.

Durante los meses de septiembre a marzo los vientos dominantes tienen un fuerte componente del oeste, en tanto que de abril hasta agosto se presentan vientos calmados del este. Generalmente durante todos los meses del año no se presentan vientos fuertes, clasificándose dentro de la escala de Beafort como vientos calmados que llevan una velocidad de 1.6 a 4.8 km/hr, aunque la velocidad del aire puede incrementarse en la época de lluvias pero aún así este no excede de los 5 km/hr.

2.2.5. Características geológicas

Se encuentran depósitos aluviales de material ígneo muy intemperizado, del tipo de las Andesitas, Brechas volcánicas y Arenisca-tobas, que componen las serranías que rodean esta zona.

Son suelos relativamente jóvenes del cuaternario, de formación aluvial y se originaron a partir de depósito de material ígneo derivado de las partes altas que circundan la zona. Pertenecen a la subunidad de suelos vertisol pélico. Entre otras propiedades son de textura fina o pesada y se agrietan, presentan perfiles homogéneos por lo que es difícil diferenciar horizontes de diagnóstico a simple vista.

2.3. Muestreo de suelo por medio de puntos georeferenciados³⁷

En la agricultura de precisión para localizar la posición actual del punto del terreno donde nos encontramos en latitud y longitud se utiliza un sistema GPS, al tiempo que se van recopilando otros datos de interés que mantengan una relación espacial, como pueda ser la calidad del suelo, cantidad de agua, densidad del cultivo, con ello se busca la obtención de un mapa que resulte representativo del terreno y de utilidad para el agricultor.

La toma de muestras se realizó en base al diseño alineado en rejilla²⁴ con la ventaja de que los puntos de muestreo se pueden seleccionar marcándolos de forma previa en un croquis del terreno o al momento de la recolección de las muestras.²⁵ Las coordenadas exactas de los puntos de muestreo en el campo se obtienen por medio de un equipo GPS (ver anexo 1).

Se recomienda para áreas homogéneas y no homogéneas de más de 2 hectáreas.³⁷ Una de sus ventajas es que se logra cubrir toda la superficie del terreno sin que alguna parte quede sin considerar. Con este diseño se puede hacer un seguimiento de la evolución de las propiedades del suelo ya que se pueden ubicar nuevamente los sitios de muestreo por medio del equipo de GPS con una exactitud confiable.

2.3.1. Ubicación de los puntos de muestreo

En un mapa obtenido a través de google earth³⁹ se seleccionaron los lugares de muestreo de acuerdo al diseño de “rejilla” para abarcar todo el terreno de manera uniforme, posteriormente se elaboró un croquis del terreno junto con los datos GPS de cada uno de los puntos seleccionados.

El día del muestreo se ubicaron los puntos en el terreno por medio de un GPS de acuerdo al diseño “Muestreo de suelos por medio de puntos georeferenciados” La ubicación de

cada uno de los puntos de muestreo se realizó con un par de equipos de GPS de la marca GARMIN de modelo Etrex⁴⁷, que tienen una muy confiable exactitud de posicionamiento, con un margen de error de menos de dos metros.

2.3.2. Procedimiento para el muestreo del suelo por medio de puntos georeferenciados

Trabajo previo:

- Si se tienen las coordenadas cartesianas que limitan la zona de estudio o si se cuenta con información previa como son fotografías aéreas, mapas, o las imágenes satelitales obtenidas del programa google earth³⁹ (ver anexo 2a), la ubicación de los puntos de muestreo puede realizarse antes de la fecha del muestreo sin tener que trasladarse a la misma.
- En un croquis de terreno o de la zona de estudio, se ubican los ejes coordenados X y Y, latitud y longitud respectivamente y se traza una cuadrícula. Los cuadrados de la rejilla se debe procurar que tengan las mismas medidas, y que los puntos estén distribuidos de forma homogénea a través del terreno.
- Se elabora un cuadro que contenga las coordenadas de los puntos seleccionados para la toma de muestras, con el número de muestra correspondiente.

Trabajo de campo:

- En el terreno con ayuda del croquis y el cuadro de datos, se ubican con el GPS los diversos puntos previamente seleccionados, en algunos casos debido a las características superficiales del suelo (vegetación, objetos que obstaculicen el lugar seleccionado, como árboles, rocas, animales, cercas, etcétera) el punto de muestreo se podría modificar, teniendo cuidado de tomar los datos de las coordenadas del nuevo punto de muestreo.²⁵

- Para estudios posteriores se podrán localizar nuevamente los puntos de muestreo ubicando las coordenadas correspondientes con el GPS.
- En caso de no tener información previa del sitio de muestreo y de no haber realizado la ubicación de los puntos de muestreo previamente, se procede a realizar un recorrido del perímetro del terreno con el equipo de GPS en el modo de “map” para trazar un mapa y además para recopilar los datos geográficos más importantes como son las medidas del terreno, elevación y coordenadas longitud y latitud respectivamente.
- Se seleccionan los puntos de muestreo por medio del mapa trazado en el GPS haciendo una distribución de forma homogénea. También en este caso si se encuentran objetos que obstaculicen el lugar de muestreo, se pueden ubicar los puntos de muestreo en un lugar cercano al seleccionado indicando las nuevas coordenadas.
- De acuerdo al personal con el que se cuenta para la toma de muestras, primero se pueden marcar cada uno de los puntos de muestreo por medio de banderines, estacas, etc. y posteriormente se hace la toma de muestras en cada punto.²⁵

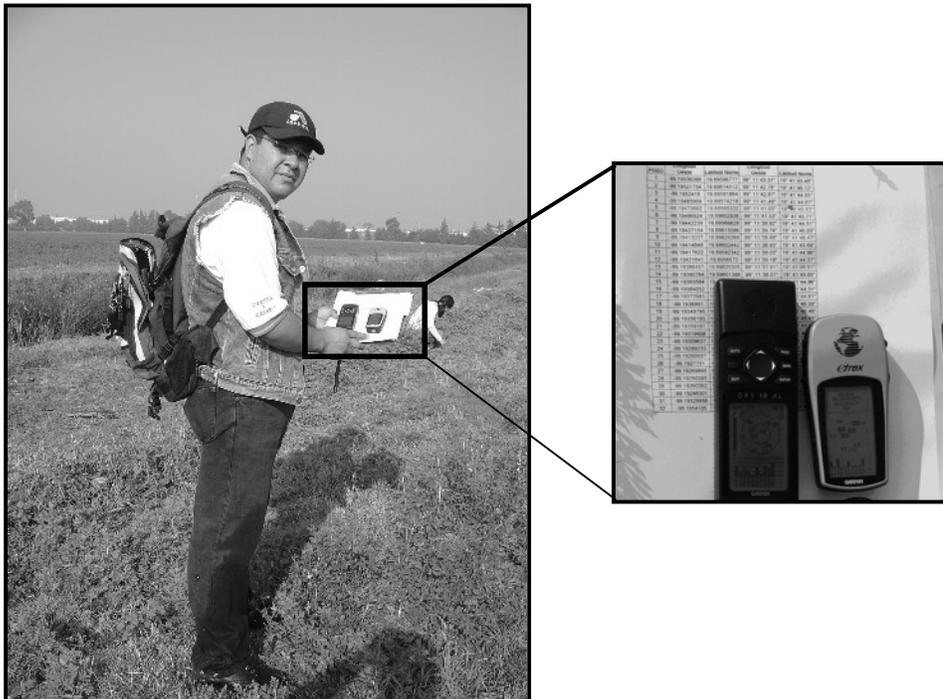


Figura 4. Ubicación de puntos de muestreo con equipo GPS

2.4. Toma de muestras de la capa arable

El muestreo de la capa arable implica tomar muestras a una profundidad entre 0- 30 cm. Durante todo el muestreo es recomendable mantener constante la profundidad y el volumen de la muestra. La toma de muestras se realizó con pala recta (figura 5), manteniendo el volumen constante.²⁵



Figura 5. Toma de muestras de la capa arable con pala recta.

Se quita la cubierta vegetal y se cava un hoyo en forma de "V", de unos 30 cm de profundidad, se corta una rebanada de uno de los lados y, despreciando los bordes, la parte central se pasa a una bolsa.

2.5. Toma de muestras en un perfil de suelo

En algunas ocasiones es conveniente conocer la variabilidad de las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo a lo largo de un perfil, para conocer la disponibilidad de los nutrientes para la planta.^{7,8}

2.5.1. Ubicación del perfil

Dentro de la parcela 7 o huerto frutícola, corresponde al número de muestra 56 de coordenadas GPS: Longitud Oeste 99° 11' 36.46'' y Latitud Norte 19° 41' 44.84''.

Tiene entre otros usos un área destinada a una estación meteorológica, la cual está cercada y ha impedido que el suelo presente alteraciones continuas²⁵ lo que permitió que este haya sido el lugar adecuado para excavar el pozo en el que se delimitó el perfil cada 10 cm. para la toma de las muestras.

2.5.2. Excavación del pozo²⁵

Al cavar un pozo para muestreo se recomienda que:

- Se oriente de forma que la cara en la que se hará la descripción del perfil esté iluminada uniformemente.
- Durante la excavación, no se altere, pise o dañe la vegetación que crece en la parte superior del perfil.
- El suelo que se extrae no debe colocarse sobre la parte superior del lado del pozo en el que se hará la descripción del perfil y tampoco debe arrojarse demasiado lejos para que al final del muestreo resulte más sencillo tapan el pozo.



Figuras 6 y 7. Excavación de un pozo de muestreo y toma de muestras del perfil.

- En un suelo profundo las dimensiones serán; 1 m de ancho por 2 m de largo y 2 m de profundidad, para poder sacar con comodidad el suelo procedente de la excavación y tener suficiente espacio y luz al momento de hacer la descripción del perfil.¹⁶

Posteriormente, al tapar el pozo, se procura dejar la superficie del suelo lo menos alterada posible.

En nuestro caso, se tomaron un total de 96 muestras de la capa arable, georeferenciadas por medio del GPS, basándose en las coordenadas previamente seleccionadas para las muestras y además se tomaron 15 muestras de un perfil ubicado en la parte menos alterada del huerto.

2.6. Manejo de muestras

El manejo de las muestras comprende etiquetado, transporte, preparación (secado, molido, tamizado) y almacenamiento.



Figura 8. Diagrama del manejo de muestras.

2.6.1. Etiquetado

Conforme se vayan obteniendo las muestras de suelo se colocan en bolsas limpias de plástico y se etiquetan con toda la información necesaria para su completa identificación. Se debe evitar colocar en contacto directo con la muestra etiquetas escritas con plumón de tinta indeleble que se borren y que no puedan identificarse posteriormente.



Figura 9. Etiquetado

Para identificar las muestras sin dificultad se pone la etiqueta de manera visible y con los datos generales del lugar donde se tomo la muestra, con el auxilio de una libreta de registro, podrá conocerse en todo momento la información completa de la muestra.

2.6.2. Tratamiento físico de las muestras²⁵

1.6.2.1. Secado

Las muestras se secaron para evitar los cambios que se producen en el estado químico de los iones y en la materia orgánica del suelo, cuando las muestras se almacenan húmedas. Sólo en ciertas circunstancias especiales, deben analizarse suelos a humedad de campo.

No es recomendable secar al horno la muestra, ni tampoco directamente a los rayos solares ya que puede ocasionar cambios en los niveles de algunos nutrimentos. El lugar en el que se realiza el secado debe estar libre de contaminaciones.

El secado al aire se realizó colocando las muestras extendidas sobre papel libre de tinta, en una bandeja de plástico. Para acelerar el secado, se rompieron manualmente los agregados grandes.

Se eliminaron de la muestra las gravas y pequeñas piedras, al igual que raíces, hojarasca, etc.

Después el suelo se removió frecuentemente cuando menos dos veces al día para facilitar la pérdida de humedad.



Figura 10. Secado de muestras de suelo

2.6.2.2. Molido

Consistió en la fractura de agregados hasta que la muestra pasa a través del tamiz cuyo tamaño de malla de 2 mm.

Durante el molido, los agregados del suelo se rompieron golpeándolos ligeramente con un mazo de madera; no es conveniente utilizar un mortero de porcelana porque puede aumentarse el contenido de calcio en la muestra. En suelos arcillosos los agregados se rompen mejor antes de secar completamente la muestra, de otra manera se dificulta el tamizado.



Figura 11. Molido de muestras con un mazo de madera

2.6.2.3. Tamizado

Sólo tienen verdadero interés agronómico las partículas con un diámetro de 2 mm o menores, en cuya superficie se llevan casi la totalidad de los procesos físicos y químicos del suelo; por ello, antes de analizar las muestras deben pasarse, a través de un tamiz con orificios de 2 mm de diámetro. (Figura 12).



Figura 12. Tamizado de una muestra de suelo.

El proceso de tamizado consistió en:

- Pasar la muestra a través del tamiz frotando con los dedos.
- Romper los agregados de suelo que no pasan por el tamiz.

Se continúa así hasta que en el tamiz sólo permanezcan los fragmentos gruesos o los residuos grandes de materia orgánica.

2.6.2.4. Almacenamiento

Las muestras se almacenaron en bolsas de plástico dentro de cajas de cartón, provistos de etiquetas interiores y exteriores.



Figura 13. Almacenamiento de muestras

Almacenamos las muestras de suelo con el fin de:

- Se necesite realizar algunos otros análisis a partir de los resultados obtenidos.
- Una muestra ha sido tan exhaustivamente analizada que puede servir como parámetro de comparación en otros estudios.

En conclusión, la aplicación correcta de las recomendaciones presentadas al realizar el muestreo y la preparación de las muestras de suelo, sirve para que los resultados analíticos que se obtengan sean mas confiables y puedan ser utilizados al clasificar un suelo o dar recomendaciones para su manejo.

2.7. Determinaciones químicas

Las propiedades químicas analizadas, son de gran interés ya que a partir de los resultados obtenidos por cada uno de los análisis se procedió a obtener su mapa correspondiente.

El análisis de cada una de las muestras se llevó a cabo por triplicado, realizando las siguientes determinaciones químicas:

1. Determinación de pH real y potencial. Método potenciométrico¹⁷
2. Determinación de conductividad eléctrica. Método conductimétrico.¹⁷
3. Determinación del porcentaje de materia orgánica. Método volumétrico.²⁵
4. Determinación de calcio y magnesio asimilables. Método complejométrico.²⁵
5. Determinación de sodio y potasio. Método flamométrico.²⁵
6. Determinación de capacidad de intercambio catiónico total. Método volumétrico.²³
7. Determinación de fósforo asimilable. Métodos Olsen y Bray.^{17, 25}

La metodología para realizar estas determinaciones químicas es una adaptación al manual de análisis físico y químico de suelos y compostas^{17 25} para la implementación de nuevos equipos de análisis correspondiente al trabajo de servicio social.

2.8. Importancia de las propiedades analizadas

2.8.1. El pH^{2, 25}

El pH del suelo influye en la solubilidad y disponibilidad de los diversos nutrientes para las plantas, modifica la actividad de los microorganismos del suelo, contribuye a la mineralización de las sustancias orgánicas, determina la velocidad de intemperismo químico de los minerales.

En el suelo es necesario distinguir dos formas de pH: pH real y pH potencial. La primera forma expresa la concentración de iones H^+ , que se encontraban disociados en la solución del suelo en el momento que se tomó la muestra para hacer la determinación; la segunda corresponde a la suma de los iones H^+ que se tienen disociados más los que H^+ de cambio que no están disociados pero que se disociarán con el tiempo a medida que se produzcan cambios en el equilibrio iónico del suelo, es por esto que se considera al pH potencial como el valor mínimo que puede alcanzar un suelo en condiciones normales.

2.8.2. Conductividad Eléctrica (CE) ²⁵

La existencia y/o alcalinidad de los suelos es uno de los grandes problemas que reducen la calidad y la producción de cultivos, de aquí se deduce la gran importancia que tiene conocer el origen de la salinidad y/o alcalinidad del suelo, así como sus efectos sobre las plantas.

2.8.3. Porcentaje de materia orgánica (% M.O.) ²⁵

La materia orgánica humificada o sin humificar influyen en la génesis y en muchas de las propiedades físicas, químicas y biológicas de suelo. Cuando un suelo tiene un bajo contenido es necesario adicionarle una fuente rica de en materia orgánica como son las compostas.

Principales funciones en las que interviene la materia orgánica en el suelo:

1. Propiedades Físicas.

- Reduce el impacto de la gota de lluvia.
- Proporciona una estructura al suelo al actuar como cemento de unión entre las partículas
- Aumenta el porcentaje de espacio poroso en suelos arenosos.
- Incide en el balance hídrico del suelo ya que favorece la retención de humedad y mejora la infiltración del agua.
- Minimiza la erosión producida por el viento.
- Reduce las oscilaciones térmicas.

2. Propiedades químicas.

- Suministra los nutrimentos esenciales, nitrógeno, fósforo, azufre, entre otros.
- Actúa como buffer al modelar los cambios de acidez o alcalinidad.

- Inactiva a los elementos químicos y a los compuestos orgánicos tóxicos, añadidos al suelo por contaminación.
- Interviene en la retención de nutrimentos debido a su elevada capacidad de intercambio catiónico total.

3. Propiedades Biológicas.

- Es hábitat y fuente de energía para los microorganismos del suelo.
- Al oscurecer el suelo en los climas templados promueve su calentamiento y también una mejor germinación y el fácil aprovechamiento del agua.
- Al mejorar el drenaje y la estructura beneficia la aireación de los suelos.

2.8.4. Calcio (Ca^{2+}) y Magnesio (Mg^{2+}) ²⁵

El calcio se acumula entre las paredes celulares para actuar como cemento para mantenerlas juntas. Forma sales con los ácidos orgánicos e inorgánicos del interior de las células y regula la presión osmótica de las mismas. El calcio presente en la solución del suelo y absorbido en el complejo coloidal de intercambio catiónico, constituye uno de los principales elementos nutritivos de la vegetación, tiene una influencia preponderante en el valor del pH del suelo, e influye en la estructura del suelo y su estabilidad.

La presencia de calcio absorbido en las miscelas electronegativas “neutraliza” su carga superficial y permite su floculación, su asociación al humus y la formación de grumos.

Equilibra el contenido de potasio, magnesio y boro de las plantas por lo que su exceso de calcio promueve la deficiencia de uno o más de los citados elementos y a la vez cada uno de ellos lo hacen con el calcio.

El calcio está ligado íntimamente en el desarrollo de los puntos de crecimiento en las raíces. Tiene relación estrecha con la formación de flores, división celular, elongación celular. Interviene en la formación de la lecitina, que es un fosfolípido importante de la membrana celular. Favorece la formación y el incremento de la proteína contenida en las mitocondrias.

El magnesio es el único constituyente mineral de la molécula de clorofila y se halla localizado en su centro, su importancia para la vida vegetal es evidente, ya que la ausencia de clorofila impediría a las plantas verdes autótrofas llevar a cabo la fotosíntesis. También el magnesio se encuentra en cantidades apreciables en las semillas. Parece estar relacionado con el metabolismo del fósforo y se le considera específico en la activación de numerosos sistemas enzimáticos de las plantas.

2.8.5. Sodio (Na⁺) y Potasio (K⁺)²⁵

El potasio es un elemento esencial, y a diferencia del nitrógeno, azufre, fósforo y varios otros elementos no forman parte integral de los componentes de la planta tales como protoplasma, grasa y celulosa. A pesar de esto, es imprescindible para las siguientes funciones fisiológicas:

- Metabolismo de hidratos de carbono o formación del almidón.
- Metabolismo de nitrógeno y síntesis de proteínas.
- Control y regulación de las actividades de varios elementos minerales esenciales.
- Activación de varias enzimas.
- Promoción del crecimiento de los tejidos meristemáticos.
- Ajustes de la apertura de estomas y relaciones con el agua.

Las principales manifestaciones de carencia de potasio en el suelo se manifiestan en las hojas de las plantas adultas, en las cuales se tornan prematuramente amarillentas comenzando por los bordes; a continuación sus extremos y ápices adquieren color pardo (a veces con manchas necróticas de color rojo tostado), después los extremos de las hojas mueren y se descomponen.

Con respecto al sodio, este elemento puede causar grandes problemas en los suelos en los que se presenta en exceso debido a que las sales solubles las que pueden ser neutras o alcalinas, tienen gran influencia en el crecimiento vegetal y la producción agrícola se ve limitada por los efectos perjudiciales que se producen entre los que se encuentran:

- El sodio intercambiable esta retenido débilmente cuando el suelo tiene un alto porcentaje de sodio intercambiable (PSI), por lo que los iones que se liberan a la solución del suelo serán en su mayoría iones de sodio.
- El sodio en grandes cantidades excluye por competencia de los sitios de intercambio al potasio, calcio y al magnesio, ya que se intercambia en lugar de los otros y el problema para la planta es grave por deficiencia de nutrimentos.
- Por lo general cuando existe exceso de sodio Intercambiable en la solución del suelo, se tienen altos valores de pH, debido a la existencia de sales solubles como el bicarbonato de sodio $(\text{NaH})_2\text{CO}_3^-$ y al carbonato de sodio NaCO_3^{-2} que tienden a precipitar al calcio y al magnesio en forma de carbonatos o bicarbonatos insolubles.
- El pH alcalino también limita la asimilación de diversos nutrimentos tales como el hierro, magnesio, zinc y fósforo. Asimismo, la solución del suelo alcalino tiene una acción corrosiva sobre la corteza de las raíces y tallos.
- Altas concentraciones de las sales neutras, tales como del cloruro de sodio y el sulfato de sodio entre otras, pueden interferir con la absorción de agua por la planta a través de la presión osmótica más alta en la solución del suelo que la que existe en las células de la raíz.
- El sodio Intercambiable en los suelos sódicos causa floculación de los coloides, ésta se produce cuando las cargas de los coloides están neutralizadas y provoca destrucción de las unidades estructurales del suelo lo que vuelve al suelo más o menos impermeable y retarda la entrada del agua e impide el drenaje.

Siempre se debe de determinar el PSI (porcentaje de sodio intercambiable) en un suelo si se sospecha que existen problemas de sodicidad. Vegetación muy escasa o inexistente, presencia de manchas negras en la superficie del suelos o la presencia de plantas que solo crecen en medios alcalinos son buenos indicadores.

2.8.6. Capacidad de intercambio catiónico total (C.I.C.T.)¹

Se define al intercambio iónico como los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo, adsorben iones de la fase líquida liberando al mismo tiempo otros iones en cantidades equivalentes, estableciéndose el equilibrio entre ambos. Es un proceso dinámico que se desarrolla en la superficie de las partículas; como los iones adsorbidos quedan en posición asimilable constituyen la reserva de nutrientes para las plantas. Es la

cantidad de iones que pueden ocupar los sitios de intercambio totales, de los suelos, ya sea por la adición de nuevos iones o simplemente por cambios en la concentración de la solución y que se expresan en miliequivalentes por cada cien gramos de suelo (miliequivalente / 100gr = cmol (+)Kg⁻¹).

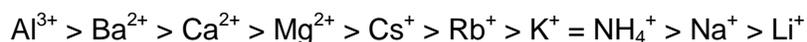
Función en el suelo:

- Controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas: K⁺, Mg⁺², Ca⁺², entre otros.
- Interviene en los procesos de floculación - dispersión de arcilla y por consiguiente en el desarrollo de la estructura y estabilidad de los agregados.
- Determina el papel del suelo como depurador natural al permitir la retención de elementos contaminantes incorporados al suelo.
- El complejo de cambio actúa como almacén donde están fijados reversiblemente muchos de los elementos nutritivos para las plantas

No todos los cationes son adsorbidos con igual fuerza en una arcilla saturada, se ha demostrado que la fuerza de sustitución de los cationes alcalinos metálicos aumenta con el peso atómico y otros factores.

Cualquier ión que se encuentre libre en la solución del suelo, de inmediato puede ser empleado para la nutrición vegetal, sin embargo, no depende solamente de este elemento la nutrición, ya que las raíces al entrar en contacto con los coloides del suelo, realizan un intercambio catiónico, extrayendo cantidades que exceden a las que se encuentran disueltas en el suelo. De hecho se piensa que después de la fotosíntesis, el intercambio catiónico es la reacción más importante en la agricultura.

La fuerza relativa de intercambio de cationes o de enlace con la arcilla en soluciones diluidas puede expresarse de la siguiente forma:



2.8.7. Fósforo ²⁵

El fósforo estimula la formación y el crecimiento temprano de las raíces, favoreciendo un

arranque vigoroso y rápido de la planta. Promueve la floración, acelera la madurez, y ayuda a la formación de las semillas. Además mejora la resistencia de las plantas contra el efecto de las bajas temperaturas del invierno.

Se encuentra en grandes cantidades en semillas y frutos. Incrementa la calidad de ciertos frutos, forrajes, hortalizas y cultivos de grano y aumenta la resistencia a las enfermedades de los mismos.

En las planta el fósforo se encuentra formando parte de los ácidos nucleicos, fosfolípidos, coenzimas como NAD NADP y en parte importante del ATP.

En los tejidos de las plantas donde tiene lugar el crecimiento, se encuentran fuertes concentraciones de fósforo que intervienen en síntesis de núcleoproteínas.

Capítulo 3. Resultados

3.1 Resultados de la ubicación GPS de los puntos de muestreo del suelo del huerto frutícola

Tabla 1. Ubicación GPS de los puntos de muestreo

Número de Muestra	Ubicación en Grados		Ubicación en Decimales	
	Longitud Oeste	Latitud Norte	Longitud Oeste	Latitud Norte
1	99° 11' 42.72''	19° 41' 46.72''	99.19520	19.69631
2	99° 11' 42.79''	19° 41' 46.10''	99.19522	19.69614
3	99° 11' 43.30''	19° 41' 45.49''	99.19536	19.69597
4	99° 11' 43.48''	19° 41' 44.45''	99.19541	19.69568
5	99° 11' 43.58''	19° 41' 43.22''	99.19544	19.69534
6	99° 11' 43.01''	19° 41' 43.01''	99.19528	19.69557
7	99° 11' 42.65''	19° 41' 44.84''	99.19518	19.69579
8	99° 11' 42.36''	19° 41' 45.38''	99.19510	19.69594
9	99° 11' 42.07''	19° 41' 45.92''	99.19502	19.69609
10	99° 11' 41.71''	19° 41' 46.43''	99.19492	19.69623
11	99° 11' 40.52''	19° 41' 46.61''	99.19459	19.69628
12	99° 11' 41.10''	19° 41' 46.10''	99.19475	19.69614
13	99° 11' 41.53''	19° 41' 45.53''	99.19487	19.69598
14	99° 11' 41.75''	19° 41' 44.74''	99.19493	19.69576
15	99° 11' 42.14''	19° 41' 44.23''	99.19504	19.69562
16	99° 11' 42.79''	19° 41' 42.94''	99.19522	19.69526
17	99° 11' 43.51''	19° 41' 43.51''	99.19499	19.69542
18	99° 11' 41.35''	19° 41' 44.52''	99.19482	19.69570
19	99° 11' 41.06''	19° 41' 45.10''	99.19474	19.69586
20	99° 11' 40.42''	19° 41' 46.00''	99.19456	19.69611
21	99° 11' 39.73''	19° 41' 46.03''	99.19437	19.69612
22	99° 11' 40.16''	19° 41' 45.38''	99.19449	19.69594
23	99° 11' 40.49''	19° 41' 44.66''	99.19458	19.69574
24	99° 11' 41.14''	19° 41' 43.66''	99.19476	19.69549
25	99° 11' 41.53''	19° 41' 43.15''	99.19487	19.69532
26	99° 11' 40.70''	19° 41' 43.58''	99.19464	19.69544
27	99° 11' 40.31''	19° 41' 43.58''	99.19453	19.69554
28	99° 11' 39.98''	19° 41' 44.52''	99.19444	19.69570
29	99° 11' 25.24''	19° 41' 45.24''	99.19435	19.69590
30	99° 11' 38.87''	19° 41' 46.61''	99.19413	19.69628
31	99° 11' 38.80''	19° 41' 45.96''	99.19411	19.69610
32	99° 11' 39.19''	19° 41' 45.02''	99.19422	19.69584
33	99° 11' 39.44''	19° 41' 44.46''	99.19429	19.69569
34	99° 11' 39.66''	19° 41' 43.91''	99.19435	19.69553
35	99° 11' 40.16''	19° 41' 43.33''	99.19449	19.69537

Tabla 1. Ubicación GPS de los puntos de muestreo (continuación)

Número de Muestra	Ubicación en Grados		Ubicación en Decimales	
	Longitud Oeste	Latitud Norte	Longitud Oeste	Latitud Norte
36	99° 11' 40.27''	19° 41' 42.94''	99.19452	19.69526
37	99° 11' 39.34''	19° 41' 43.19''	99.19426	19.69533
38	99° 11' 38.90''	19° 41' 43.80''	99.19414	19.69550
39	99° 11' 38.90''	19° 41' 44.38''	99.19414	19.69566
40	99° 11' 38.29''	19° 41' 45.10''	99.19397	19.69586
41	99° 11' 38.18''	19° 41' 45.64''	99.19394	19.69601
42	99° 11' 37.93''	19° 41' 46.50''	99.19387	19.69625
43	99° 11' 37.32''	19° 41' 46.03''	99.19370	19.69612
44	99° 11' 37.43''	19° 41' 45.31''	99.19373	19.69596
45	99° 11' 38.04''	19° 41' 44.56''	99.19390	19.69571
46	99° 11' 38.44''	19° 41' 43.62''	99.19401	19.69545
47	99° 11' 38.76''	19° 41' 42.97''	99.19410	19.69527
48	99° 11' 37.61''	19° 41' 43.37''	99.19378	19.69538
49	99° 11' 37.5''	19° 41' 43.87''	99.19375	19.69552
50	99° 11' 37.32''	19° 41' 44.56''	99.19370	19.69571
51	99° 11' 36.92''	19° 41' 45.06''	99.19359	19.69585
52	99° 11' 36.82''	19° 41' 45.64''	99.19356	19.69601
53	99° 11' 36.60''	19° 41' 46.54''	99.19350	19.69626
54	99° 11' 36.02''	19° 41' 45.96''	99.19334	19.69610
55	99° 11' 36.35''	19° 41' 45.53''	99.19343	19.69598
56	99° 11' 36.46''	19° 41' 44.84''	99.19346	19.69579
57	99° 11' 36.71''	19° 41' 44.45''	99.19353	19.69568
58	99° 11' 37.03''	19° 41' 43.98''	99.19362	19.69555
59	99° 11' 37.36''	19° 41' 43.04''	99.19371	19.69529
60	99° 11' 36.85''	19° 41' 42.83''	99.19357	19.69523
61	99° 11' 36.38''	19° 41' 43.48''	99.19344	19.69541
62	99° 11' 36.35''	19° 41' 44.23''	99.19343	19.69562
63	99° 11' 36.13''	19° 41' 44.71''	99.19337	19.69575
64	99° 11' 35.81''	19° 41' 45.10''	99.19328	19.69586
65	99° 11' 35.52''	19° 41' 45.53''	99.19320	19.69598
66	99° 11' 35.48''	19° 41' 46.43''	99.19319	19.69623
67	99° 11' 35.09''	19° 41' 45.89''	99.19308	19.69608
68	99° 11' 35.20''	19° 41' 45.28''	99.19311	19.69591
69	99° 11' 35.38''	19° 41' 44.74''	99.19316	19.69576
70	99° 11' 35.63''	19° 41' 44.41''	99.19323	19.69567
71	99° 11' 35.88''	19° 41' 4.73''	99.19330	19.69548
72	99° 11' 36.13''	19° 41' 43.08''	99.19337	19.69530
73	99° 11' 35.63''	19° 41' 42.79''	99.19323	19.69522
74	99° 11' 35.38''	19° 41' 43.37''	99.19316	19.69538
75	99° 11' 35.20''	19° 41' 44.09''	99.19311	19.69558

Tabla 1. Ubicación GPS de los puntos de muestreo (continuación)

Número de Muestra	Ubicación en Grados		Ubicación en Decimales	
	Longitud Oeste	Latitud Norte	Longitud Oeste	Latitud Norte
76	99° 11' 34.87''	19° 41' 44.99''	99.19302	19.69583
77	99° 11' 34.69''	19° 41' 45.42''	99.19297	19.69595
78	99° 11' 34.40''	19° 41' 46.46''	99.19289	19.69624
79	99° 11' 33.86''	19° 41' 46.07''	99.19274	19.69613
80	99° 11' 34.08''	19° 41' 45.53''	99.19280	19.69598
81	99° 11' 34.19''	19° 41' 44.99''	99.19283	19.69583
82	99° 11' 34.62''	19° 41' 44.41''	99.19295	19.69567
89	99° 11' 33.61''	19° 41' 43.76''	99.19267	19.69549
90	99° 11' 34.01''	19° 41' 42.94''	99.19278	19.69526
91	99° 11' 33.36''	19° 41' 42.94''	99.19260	19.69526
92	99° 11' 33.04''	19° 41' 44.12''	99.19251	19.69559
93	99° 11' 32.82''	19° 41' 44.77''	99.19245	19.69577
94	99° 11' 32.82''	19° 41' 45.46''	99.19245	19.69596
95	99° 11' 32.53''	19° 41' 44.27''	99.19237	19.69563
96	99° 11' 32.82''	19° 41' 43.37''	99.19245	19.69538

Vértice	Ubicación en Grados		Ubicación en Decimales	
	Longitud Oeste	Latitud Norte	Longitud Oeste	Latitud Norte
a.	99° 11' 43.19''	19° 41' 41.47''	99.19533	19.69639
b.	99° 11' 44.12''	19° 41' 42.54''	99.19559	19.69515
c.	99° 11' 32.32''	19° 41' 46.72''	99.19231	19.69631
d.	99° 11' 32.39''	19° 41' 42.61''	99.19233	19.69517

3.2. Resultados del análisis químico del suelo del huerto frutícola

Tabla 2. Resultados del análisis de pH real

Número de muestra	pH real	Número de muestra	pH real	Número de muestra	pH real
1	7.01	33	6.97	65	6.81
2	6.88	34	6.77	66	6.98
3	7.14	35	6.86	67	7.20
4	6.97	36	6.74	68	7.13
5	6.64	37	6.49	69	7.05
6	7.04	38	6.66	70	6.97
7	7.14	39	6.85	71	6.54
8	7.23	40	7.42	72	6.65
9	6.80	41	7.19	73	6.84
10	6.73	42	6.50	74	6.38
11	7.35	43	6.69	75	6.42
12	7.07	44	6.80	76	7.19
13	6.59	45	6.65	77	6.93
14	6.85	46	7.00	78	6.92
15	6.50	47	7.25	79	7.90
16	6.96	48	6.76	80	7.26
17	6.96	49	6.99	81	7.11
18	6.41	50	7.37	82	6.75
19	7.10	51	7.81	83	6.76
20	6.90	52	7.03	84	6.94
21	7.16	53	6.92	85	6.93
22	7.70	54	6.98	86	6.64
23	7.39	55	7.22	87	6.73
24	7.11	56	7.09	88	6.86
25	6.26	57	6.77	89	6.88
26	6.44	58	6.55	90	6.76
27	7.09	59	6.85	91	6.66
28	6.30	60	6.53	92	6.50
29	6.96	61	6.74	93	6.69
30	6.56	62	6.33	94	6.86
31	7.50	63	6.88	95	6.51
32	7.51	64	7.03	96	7.34

Tabla 3. Resultados del análisis de pH potencial

Número de muestra	pH potencial	Número de muestra	pH potencial	Número de muestra	pH potencial
1	5.87	33	5.71	65	5.54
2	5.67	34	5.67	66	6.48
3	5.71	35	5.84	67	6.16
4	5.75	36	5.84	68	6.10
5	5.40	37	5.52	69	6.10
6	5.87	38	5.48	70	5.77
7	5.34	39	5.63	71	5.24
8	5.89	40	6.41	72	5.63
9	5.56	41	5.95	73	5.82
10	5.51	42	5.21	74	5.32
11	6.33	43	5.40	75	5.08
12	5.87	44	5.47	76	5.90
13	5.29	45	5.22	77	5.59
14	5.78	46	5.70	78	5.67
15	5.16	47	6.22	79	5.84
16	5.81	48	5.68	80	6.03
17	5.77	49	5.82	81	6.02
18	5.24	50	6.32	82	5.45
19	6.17	51	6.55	83	5.74
20	5.70	52	5.80	84	5.75
21	6.01	53	5.66	85	5.89
22	5.82	54	5.64	86	5.51
23	6.30	55	5.98	87	5.56
24	6.16	56	6.00	88	6.00
25	5.26	57	5.58	89	5.73
26	5.28	58	5.21	90	5.67
27	5.97	59	5.82	91	5.66
28	5.17	60	5.52	92	5.13
29	5.93	61	5.64	93	5.53
30	5.45	62	5.21	94	5.71
31	5.89	63	5.70	95	5.16
32	6.44	64	6.21	96	6.29

Tabla 4. Resultados del análisis de conductividad eléctrica (C.E.)

Número de muestra	C.E. dS m ⁻¹	Número de muestra	C.E. dS m ⁻¹	Número de muestra	C.E. dS m ⁻¹
1	0.11	33	0.09	65	0.13
2	0.11	34	0.09	66	0.10
3	0.13	35	0.09	67	0.14
4	0.07	36	0.11	68	0.09
5	0.07	37	0.10	69	0.09
6	0.08	38	0.06	70	0.06
7	0.07	39	0.07	71	0.05
8	0.11	40	0.10	72	0.09
9	0.12	41	0.13	73	0.09
10	0.09	42	0.11	74	0.06
11	0.14	43	0.11	75	0.06
12	0.11	44	0.13	76	0.08
13	0.11	45	0.06	77	0.12
14	0.09	46	0.06	78	0.09
15	0.04	47	0.10	79	0.12
16	0.07	48	0.09	80	0.18
17	0.10	49	0.06	81	0.10
18	0.05	50	0.11	82	0.05
19	0.10	51	0.08	83	0.10
20	0.29	52	0.16	84	0.07
21	0.14	53	0.09	85	0.07
22	0.22	54	0.13	86	0.20
23	0.10	55	0.14	87	0.10
24	0.09	56	0.08	88	0.12
25	0.08	57	0.07	89	0.06
26	0.07	58	0.06	90	0.09
27	0.10	59	0.07	91	0.08
28	0.06	60	0.09	92	0.09
29	0.10	61	0.07	93	0.08
30	0.12	62	0.05	94	0.18
31	0.20	63	0.29	95	0.04
32	0.11	64	0.11	96	0.10

Tabla 5. Resultados del análisis de la determinación del porcentaje de materia orgánica

Número de muestra	Materia orgánica (%)	Número de muestra	Materia orgánica (%)	Número de muestra	Materia orgánica (%)
1	3.26	33	2.95	65	2.49
2	2.90	34	3.36	66	1.48
3	2.96	35	3.44	67	3.25
4	2.38	36	2.97	68	3.33
5	2.67	37	3.19	69	3.81
6	2.51	38	2.96	70	2.96
7	3.01	39	2.45	71	3.08
8	3.77	40	4.22	72	3.02
9	2.30	41	2.79	73	4.16
10	2.56	42	2.54	74	2.93
11	3.63	43	3.13	75	2.83
12	2.16	44	2.48	76	2.80
13	2.90	45	2.47	77	2.74
14	3.26	46	2.40	78	2.23
15	2.56	47	3.42	79	2.59
16	2.71	48	2.85	80	2.91
17	2.81	49	2.63	81	3.66
18	2.35	50	3.32	82	2.87
19	3.32	51	1.96	83	2.90
20	2.98	52	3.09	84	3.17
21	2.96	53	2.42	85	2.80
22	2.43	54	3.08	86	2.97
23	3.25	55	2.77	87	1.81
24	2.91	56	2.71	88	3.44
25	2.49	57	3.07	89	2.78
26	0.57	58	2.91	90	3.47
27	2.87	59	2.67	91	3.42
28	3.09	60	2.69	92	2.77
29	3.50	61	2.60	93	2.71
30	2.68	62	2.45	94	2.56
31	2.67	63	2.16	95	2.44
32	3.21	64	3.59	96	4.26

Tabla 6. Resultados del análisis de la determinación de sodio intercambiable

Número de muestra	[Na ⁺] ppm	Número de muestra	[Na ⁺] ppm	Número de muestra	[Na ⁺] ppm
1	2.46	33	2.89	65	1.51
2	1.25	34	2.23	66	1.42
3	1.77	35	2.26	67	0.64
4	2.57	36	2.56	68	2.23
5	2.56	37	2.40	69	2.23
6	2.81	38	2.91	70	2.68
7	2.31	39	2.72	71	3.30
8	2.07	40	2.24	72	2.42
9	1.77	41	1.25	73	2.39
10	0.65	42	0.90	74	2.33
11	1.09	43	0.47	75	3.22
12	1.34	44	1.42	76	2.07
13	1.25	45	3.05	77	1.35
14	2.40	46	2.83	78	1.16
15	3.11	47	2.31	79	0.99
16	2.41	48	1.73	80	1.60
17	3.06	49	2.73	81	2.15
18	2.18	50	2.23	82	3.24
19	2.07	51	2.32	83	1.98
20	0.99	52	1.77	84	2.90
21	1.34	53	1.08	85	1.81
22	1.97	54	1.60	86	0.73
23	1.98	55	0.82	87	1.25
24	2.15	56	2.23	88	2.23
25	2.08	57	2.73	89	2.39
26	1.76	58	3.22	90	2.48
27	2.56	59	2.23	91	2.34
28	2.39	60	2.24	92	3.05
29	2.32	61	2.32	93	2.10
30	0.83	62	1.90	94	0.90
31	0.74	63	1.44	95	2.66
32	2.23	64	2.11	96	3.15

Tabla 7. Resultados del análisis de la determinación de potasio asimilable

Número de muestra	[K ⁺] ppm	Número de muestra	[K ⁺] ppm	Número de muestra	[K ⁺] ppm
1	6.40	33	6.05	65	3.53
2	8.55	34	7.34	66	4.81
3	7.35	35	8.40	67	3.96
4	18.97	36	7.69	68	8.87
5	1.96	37	7.62	69	22.65
6	3.89	38	5.52	70	6.45
7	18.98	39	4.87	71	5.65
8	6.05	40	17.89	72	17.79
9	7.34	41	4.72	73	17.79
10	8.40	42	4.70	74	6.12
11	7.69	43	3.55	75	4.31
12	7.62	44	3.21	76	8.16
13	5.52	45	3.57	77	4.75
14	4.87	46	6.16	78	3.85
15	17.89	47	19.56	79	4.18
16	4.72	48	7.84	80	4.50
17	4.70	49	5.50	81	19.00
18	3.55	50	22.51	82	4.03
19	3.21	51	7.22	83	6.39
20	3.57	52	4.38	84	5.28
21	6.16	53	4.18	85	7.93
22	19.56	54	3.64	86	5.13
23	7.84	55	4.28	87	4.81
24	5.50	56	6.79	88	16.62
25	22.51	57	4.53	89	6.76
26	6.40	58	5.57	90	7.85
27	8.55	59	6.64	91	16.02
28	7.35	60	7.46	92	5.74
29	18.97	61	6.55	93	6.86
30	1.96	62	3.44	94	5.35
31	3.89	63	4.21	95	4.03
32	18.98	64	16.82	96	18.97

Tabla 8. Resultados del análisis de la determinación de calcio asimilable

Número de muestra	[Ca ²⁺] meq/100g	Número de muestra	[Ca ²⁺] meq/100g	Número de muestra	[Ca ²⁺] meq/100g
1	7.35	33	6.53	65	7.03
2	4.89	34	5.91	66	5.26
3	5.28	35	5.91	67	4.11
4	6.37	36	5.35	68	6.47
5	5.68	37	5.55	69	6.43
6	6.47	38	6.95	70	6.33
7	7.21	39	6.50	71	6.40
8	6.07	40	6.66	72	5.72
9	3.31	41	4.49	73	5.50
10	5.28	42	5.19	74	5.74
11	6.14	43	5.66	75	5.88
12	4.70	44	6.86	76	5.88
13	5.29	45	6.92	77	7.19
14	5.87	46	7.32	78	5.48
15	5.95	47	5.65	79	3.32
16	5.78	48	5.39	80	4.89
17	7.35	49	6.21	81	5.29
18	5.08	50	6.03	82	6.37
19	6.21	51	6.25	83	5.48
20	2.94	52	4.88	84	6.37
21	5.28	53	5.26	85	5.75
22	4.50	54	5.64	86	2.94
23	6.00	55	4.11	87	4.89
24	6.04	56	5.87	88	6.07
25	5.19	57	6.35	89	6.04
26	5.35	58	6.85	90	5.68
27	6.42	59	5.81	91	5.75
28	5.06	60	5.87	92	6.48
29	6.27	61	6.33	93	5.61
30	5.49	62	4.90	94	3.79
31	5.49	63	3.92	95	5.86
32	6.07	64	5.88	96	7.90

Tabla 9. Resultados del análisis de la determinación de magnesio asimilable

Número de muestra	[Mg ²⁺] meq/100g	Número de muestra	[Mg ²⁺] meq/100g	Número de muestra	[Mg ²⁺] meq/100g
1	3.63	33	3.79	65	4.10
2	1.96	34	3.26	66	2.53
3	2.94	35	3.43	67	3.72
4	3.04	36	3.49	68	3.33
5	3.39	37	3.00	69	2.97
6	3.46	38	4.86	70	3.93
7	2.81	39	3.40	71	3.89
8	3.10	40	3.40	72	3.23
9	1.36	41	3.90	73	3.94
10	2.93	42	4.01	74	4.04
11	3.41	43	5.66	75	2.61
12	3.13	44	3.72	76	3.43
13	2.94	45	3.46	77	4.47
14	3.20	46	4.28	78	2.74
15	3.42	47	3.69	79	2.54
16	3.99	48	3.56	80	2.55
17	4.08	49	3.63	81	2.91
18	3.13	50	3.03	82	2.84
19	3.36	51	3.62	83	3.72
20	5.48	52	3.12	84	3.59
21	3.33	53	2.92	85	2.91
22	2.15	54	4.87	86	2.74
23	2.90	55	3.52	87	2.74
24	4.02	56	3.29	88	3.00
25	3.43	57	3.00	89	3.46
26	4.05	58	3.23	90	4.61
27	3.58	59	3.33	91	3.20
28	3.17	60	4.20	92	2.83
29	2.58	61	3.53	93	3.10
30	2.94	62	3.14	94	2.65
31	3.53	63	2.35	95	3.81
32	3.62	64	3.46	96	3.36

Tabla 10. Resultados del análisis de la determinación del porcentaje de la capacidad de intercambio catiónico total (CICT).

Número de muestra	CICT (%)	Número de muestra	CICT (%)	Número de muestra	CICT (%)
1	16.15	33	15.91	65	17.62
2	12.33	34	15.39	66	12.51
3	17.45	35	14.03	67	14.18
4	14.38	36	17.77	68	18.53
5	14.36	37	13.67	69	17.02
6	17.14	38	18.52	70	13.85
7	16.11	39	13.66	71	18.68
8	15.58	40	19.56	72	13.67
9	11.76	41	14.20	73	15.61
10	12.95	42	11.97	74	15.26
11	15.08	43	13.51	75	16.70
12	13.47	44	17.36	76	16.15
13	14.36	45	14.36	77	17.72
14	14.53	46	18.16	78	9.86
15	16.18	47	17.05	79	15.58
16	15.40	48	14.73	80	15.75
17	19.04	49	15.75	81	14.93
18	14.56	50	16.53	82	14.54
19	17.34	51	11.01	83	14.01
20	12.11	52	16.60	84	15.91
21	11.42	53	12.10	85	14.88
22	17.28	54	13.00	86	15.39
23	16.13	55	15.55	87	12.98
24	16.43	56	15.79	88	18.61
25	13.15	57	12.70	89	16.30
26	13.32	58	17.15	90	15.49
27	18.32	59	14.70	91	14.90
28	12.97	60	15.21	92	15.40
29	18.17	61	16.08	93	13.24
30	13.99	62	12.31	94	17.15
31	12.95	63	17.11	95	11.85
32	17.77	64	16.62	96	23.50

Tabla 11. Resultados del análisis de la determinación de fósforo asimilable.

Número de muestra	Fósforo ppm	Número de muestra	Fósforo ppm	Número de muestra	Fósforo ppm
1	0.43	33	0.41	65	2.07
2	2.03	34	1.83	66	2.02
3	0.24	35	1.00	67	0.50
4	0.33	36	2.03	68	1.96
5	2.16	37	2.03	69	0.49
6	0.35	38	1.69	70	0.50
7	0.37	39	0.31	71	1.45
8	1.31	40	0.55	72	1.85
9	1.60	41	0.36	73	2.19
10	1.98	42	1.54	74	2.05
11	0.43	43	1.82	75	1.90
12	0.56	44	1.93	76	0.98
13	1.71	45	1.64	77	1.96
14	0.36	46	0.84	78	1.69
15	1.97	47	2.12	79	0.65
16	0.88	48	2.12	80	0.64
17	1.05	49	0.31	81	0.62
18	1.82	50	0.39	82	1.75
19	1.24	51	1.92	83	2.00
20	0.40	52	1.07	84	0.18
21	1.15	53	2.01	85	0.47
22	1.57	54	2.12	86	1.58
23	0.37	55	1.12	87	2.03
24	0.38	56	0.31	88	0.57
25	2.18	57	1.83	89	1.52
26	2.52	58	2.00	90	1.82
27	0.94	59	1.31	91	2.20
28	1.90	60	2.20	92	1.68
29	0.75	61	1.83	93	2.07
30	1.97	62	0.54	94	2.05
31	0.63	63	1.73	95	1.72
32	0.42	64	1.36	96	1.10

3.2. Resultados del análisis químico del perfil del suelo.

Tabla 12 Resultados del perfil del suelo.

Profundidad (cm)	pH real	pH potencial	Conductividad eléctrica mmhos/cm	Materia orgánica %	Sodio meq/100g suelo	Potasio meq/100g suelo	Calcio meq/100g suelo	Magnesio meq/100g suelo	Capacidad intercambio catiónico total meq/100g suelo	Fósforo ppm
00-10	5.69	6.25	0.16	4.16	1.04	0.52	6.11	3.27	15.02	2.18
10-20.	7.17	6.00	0.06	2.64	1.08	0.21	6.46	3.2	15.21	0.84
20-30	7.33	5.98	0.04	1.46	1.22	0.15	6.92	4.21	15.63	0.82
30-40	7.65	6.25	0.04	0.87	1.76	0.10	6.86	4.9	15.03	0.72
40-50	8.04	6.95	0.05	0.64	1.33	0.07	5.87	3.56	15.82	3.94
50-60	8.20	6.94	0.05	0.58	1.62	0.08	5.41	3.87	15.04	3.32
60-70	8.05	6.68	0.12	0.47	1.94	0.11	6.86	5.10	18.51	3.94
70-80	8.07	6.60	0.10	0.81	2.23	0.11	7.37	5.87	21.63	2.97
80-90	8.02	6.60	0.07	0.41	2.26	0.10	8.03	6.17	23.19	3.44
90-100	8.18	6.65	0.08	0.52	2.19	0.08	6.95	5.39	19.79	2.43
100-110	8.22	6.65	0.05	0.78	1.83	0.05	5.36	4.02	14.16	2.28
110-120	8.13	6.53	0.08	0.85	1.79	0.03	4.69	4.66	11.74	2.14
120-130	8.20	6.59	0.04	0.28	1.72	0.02	5.06	3.04	12.46	2.25
130-140	7.92	6.34	0.05	0.85	1.94	0.07	5.03	6.92	17.54	2.81
140-150	7.94	6.36	0.06	0.97	1.90	0.07	6.58	4.76	17.67	0.10

3.3. Análisis estadístico descriptivo de los resultados

	pH real	pH potencial	Conductividad eléctrica	Materia orgánica	Sodio
Número de muestras	96	96	96	96	96
Media	6.9065	5.7296	0.1009	2.8751	2.0469
Error típico	0.0328	0.0345	0.0044	0.0546	0.0715
Mediana	6.89	5.71	0.09	2.885	2.23
Moda	6.88	5.67	0.09	2.96	2.23
Desviación estándar	0.3218	0.3384	0.0440	0.5357	0.7007
Varianza de la muestra	0.1035	0.1145	0.0019	0.2870	0.4910
Mínimo	6.26	5.08	0.04	0.57	0.47
Máximo	7.9	6.55	0.29	4.26	3.3
Suma	663.03	550.05	9.69	276.01	196.51
Nivel de confianza(95.0%)	0.0652	0.0685	0.0089	0.1085	0.1419

	Potasio	Calcio	Magnesio	Capacidad intercambio catiónico total	Fósforo
Número de muestras	96	96	96	96	96
Media	8.1192	5.7216	3.3822	15.2917	1.3180
Error típico	0.5631	0.0962	0.0674	0.2257	0.0704
Mediana	6.16	5.835	3.375	15.395	1.555
Moda	18.97	4.89	3.46	14.36	2.03
Desviación estándar	5.5176	0.9426	0.6608	2.2121	0.6903
Varianza de la muestra	30.4439	0.8885	0.4366	4.8938	0.4765
Mínimo	1.96	2.94	1.36	9.86	0.18
Máximo	22.65	7.9	5.66	23.5	2.52
Suma	779.45	549.28	324.7	1468.01	126.53
Nivel de confianza(95.0%)	1.1179	0.1909	0.1338	0.4482	0.1398

Capítulo 4. Procesamiento de datos y resultados obtenidos

4.1. Elaboración de los mapas de variabilidad espacial

De las determinaciones analíticas se obtuvieron 9 tablas de resultados, procedentes de cada uno de los análisis químicos realizados los cuales se utilizaron para la elaboración de igual número de mapas de variabilidad espacial para cada una de las propiedades químicas analizadas, empleando el software adecuado para este propósito y basándose en el sistema de información geográfica.

4.1.1. Sistema de información geográfica (SIG) ⁴¹

Los mapas de variabilidad espacial se crearon basándose en lo que es un sistema de información geográfica (SIG), que es un conjunto de programas de computación que tiene capacidad de almacenar, organizar, analizar y presentar datos espaciales. Aquellos datos que tengan referencias geográficas, como por ejemplo densidades de insectos (número de individuos por unidad de área), tipos de suelo, de vegetación, datos climáticos¹¹, pueden ser incorporados a un SIG para luego ser utilizados en la construcción de mapas o coberturas temáticas que permitan la visualización y análisis de forma integrada de los datos originales y no como entidades individuales.

Los dos tipos de datos que constituyen todas características geográficas (espaciales y descriptivas) son combinados en los SIG's permitiendo analizar su interacción dentro de un mapa o entre varios mapas, y obtener uno nuevo con características propias¹². Un SIG está constituido por una serie de componentes básicos fundamentales que permiten realizar las siguientes funciones:

- **Incorporación y almacenamiento de datos:**

No existe una manera única de incorporación y almacenamiento de datos. Las formas variarán según el tipo de dato, los resultados que se esperan alcanzar y el software

disponible. Básicamente se emplean dos modos de representación de datos espaciales: coordenada y propiedad.

En un SIG se emplea la coordenada para cada característica geográfica y se representa por medio de puntos. Los mismos están definidos por un par x/y referenciados en un sistema cartográfico determinado como latitud/longitud y los atributos de tales características geográficas están almacenados en una base de datos independiente. La unión entre ambas bases de datos se realiza a través de un procesador que identifica cada objeto geográfico.

La representación gráfica de las características geográficas y sus atributos están incluidos dentro de un mismo archivo. El área de estudio está dividida en una rejilla de pequeñas celdas, cada una de las cuales tiene adjudicada un número que representa su posición geográfica (latitud/longitud) y al mismo tiempo su atributo cualitativo.

Los datos geográficos que se incorporan al SIG pueden provenir de mapas en papel (incorporados por medio de la digitalización o barrido), fotografías aéreas, tablas o listas; o pueden ser datos en forma digital que provienen de mapas o coberturas temáticas, o de imágenes satelitales o bien los datos que pudieron haber sido registrados directamente en el campo con la ayuda de un equipo de GPS.

- **Manejo y análisis de datos:**

El análisis espacial de datos se puede llevar a cabo mediante numerosas operaciones (lógicas y matemáticas) ejecutadas por los SIG, y entre ellas los procesos más comunes son el cruzamiento o superposición de mapas. La superposición de mapas es un procedimiento simple donde dos o más coberturas temáticas por ejemplo tipo de vegetación, curso de los ríos, red de carreteras, tipo de suelo son combinadas y el resultado es una nueva cobertura temática o mapa compuesto.¹²

- **Mapas, gráficos y tablas:**

La presentación de los resultados que llegará al usuario final o que serán utilizados por otro sistema informático puede ser de distinto tipo según las necesidades. Se pueden

obtener tablas o listas de datos, gráficos o figuras, mapas impresos, mapas obtenidos a partir de la información de imágenes satelitales con superposición de redes viales, hidrográficas, o vistas tridimensionales como modelo de elevación digital. Estos resultados pueden obtenerse tanto en papel como en otro tipo de soporte.

4.1.2. Selección del software y materiales de apoyo

Se buscaron los programas que podían cumplir con esta función, se requirió aprender a utilizarlos a la par en que se desarrollaba el trabajo experimental para esta tesis.

Para la ubicación de los límites de la zona de estudio se emplearon las coordenadas geográficas de una serie de fotografías satelitales obtenidas gracias al programa google earth³⁹ y junto con las coordenadas geográficas obtenidas con los equipos de sistema posicionamiento global GPS (ver anexo 1), esta información se utilizó para delimitar el área del huerto frutícola en estudio y para la planeación del muestreo.

En el programa Microsoft Excel se hizo la captura de los datos de los lugares de muestreo junto con los resultados de los análisis experimentales.

Los resultados de cada uno de los valores de los análisis químicos se obtuvieron por triplicado y se realizó el análisis estadístico para identificar los datos que no están de acuerdo con la propiedad analizada y poder repetir el análisis de las muestras en donde se observó una variación inadecuada.

Se pudieron crear los mapas de variabilidad espacial por medio de un software desarrollado para este fin como es el Surfer v.6^{40,46} (ver anexo 2c). Siguiendo a una rutina elaborada paso a paso de cómo se crean estos mapas de variabilidad. Esta rutina está a disposición en el laboratorio L-211 de investigación de Suelos en la FESC C4.

4.1.3. Elaboración de hojas de reporte

De acuerdo a las necesidades prácticas para quien van dirigidos los resultados experimentales de este trabajo de tesis, en este caso a Ingenieros Agrícolas, es adecuado presentar los resultados obtenidos de forma práctica y sencilla de comprender. Para que

ellos puedan tomar decisiones de la dosis de fertilización o tratamientos que deben de aplicar al suelo.

Considerando que la información se debía presentar de forma accesible se diseño una hoja de reporte con los aspectos más importantes como son:

1. Mapa de variabilidad espacial obtenido con colores contrastantes
2. Referencia al norte
3. Escala en metros
4. Escala a color
5. Rango de interpretación
6. Tabla de interpretación
7. Datos generales del lugar de muestreo

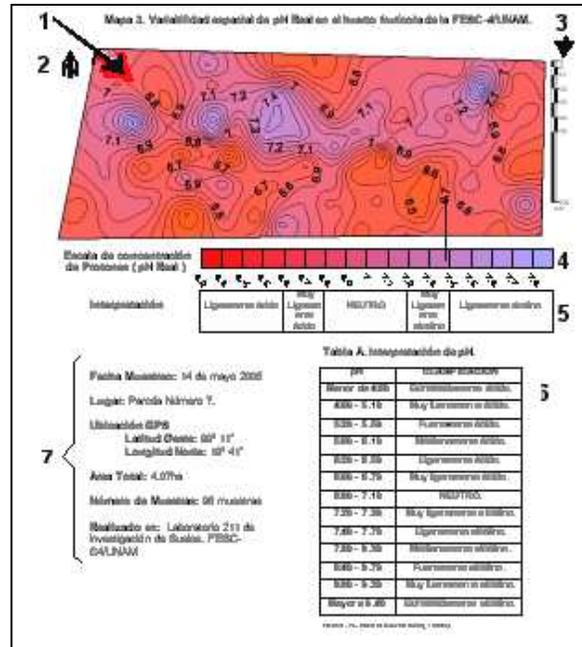


Figura 14. Esquema de la hoja de reporte

A partir de los mapas de variabilidad espacial obtenidos, podemos observar como se distribuyen las concentraciones de cada una de las propiedades químicas analizadas¹⁶, a lo largo y ancho del terreno de donde se obtuvieron las muestras, así como con ayuda de una escala de concentración, observar los rangos en donde se encuentra cada propiedad. Esta disposición de datos se puede emplear para dar ciertas recomendaciones o sugerencias para el tratamiento del suelo con el fin de tener mejoras en la calidad y/o cantidad de la cosecha.^{20,10}

4.2. Elaboración de las gráficas de variabilidad del perfil de suelo

Se elaboraron las gráficas del perfil para conocer la variabilidad de las propiedades químicas del suelo a lo largo de éste, por medio del programa Grafher v.6⁴⁰ (anexo 2c).

El uso de este programa es muy similar al de Microsoft Excel, únicamente que el Grafher permite una mejor manipulación del gráfico para la obtener la presentación que se requiere de cada mapa. Las gráficas del perfil se representan mostrando la profundidad en el eje de las “y” de 0 a 150 m en dirección hacia abajo, y en intervalos de 10 cm. En el eje “x” que corresponde a la propiedad en la gráfica. Se presenta también la tabla de resultados para estas gráficas.

Capítulo 5. Análisis de resultados

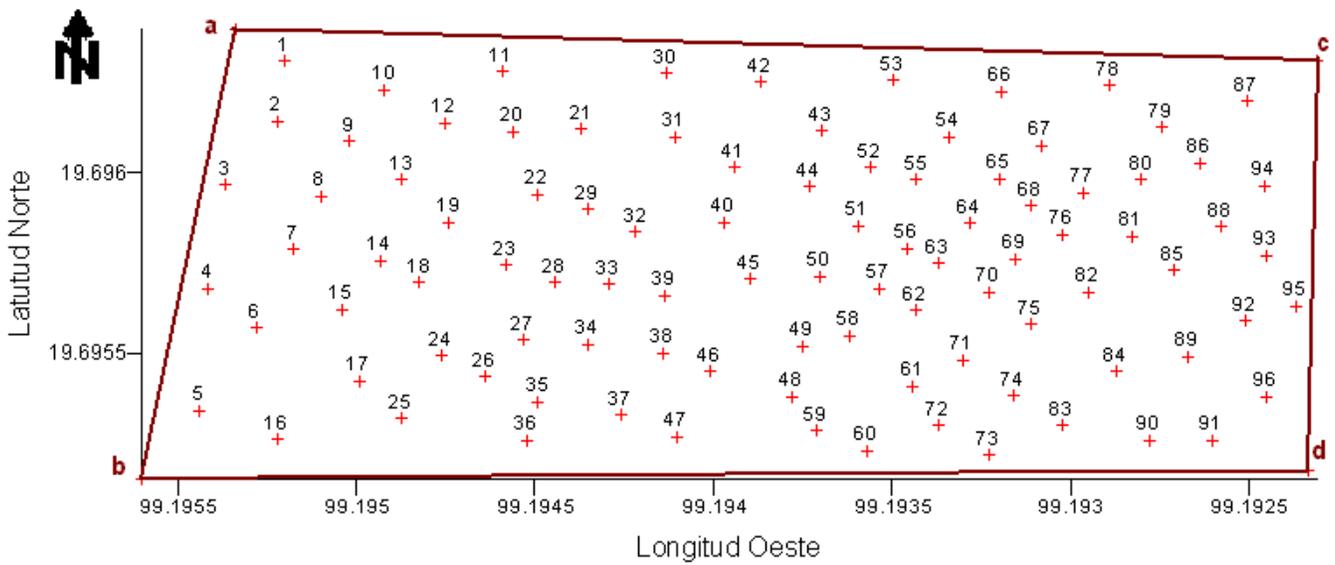
A partir de los mapas de variabilidad espacial obtenidos, podemos observar de forma particular, como se distribuyen las concentraciones de cada una de las propiedades químicas analizadas, a lo largo y ancho del huerto frutícola de FESC, así como con ayuda de una escala de interpretación se pueden observar los rangos de variación de cada propiedad.

Para la facilitar la elaboración de las conclusiones se creyó conveniente poner a continuación de cada mapa su interpretación.

Mapa 1. Ubicación de los puntos de muestreo en el huerto frutícola de la FESC - 4/UNAM.



Mapa 2. Ubicación de los puntos de muestreo en el huerto frutícola de la FESC - 4/UNAM.



5.1. Variabilidad espacial del pH real. (mapa 3)

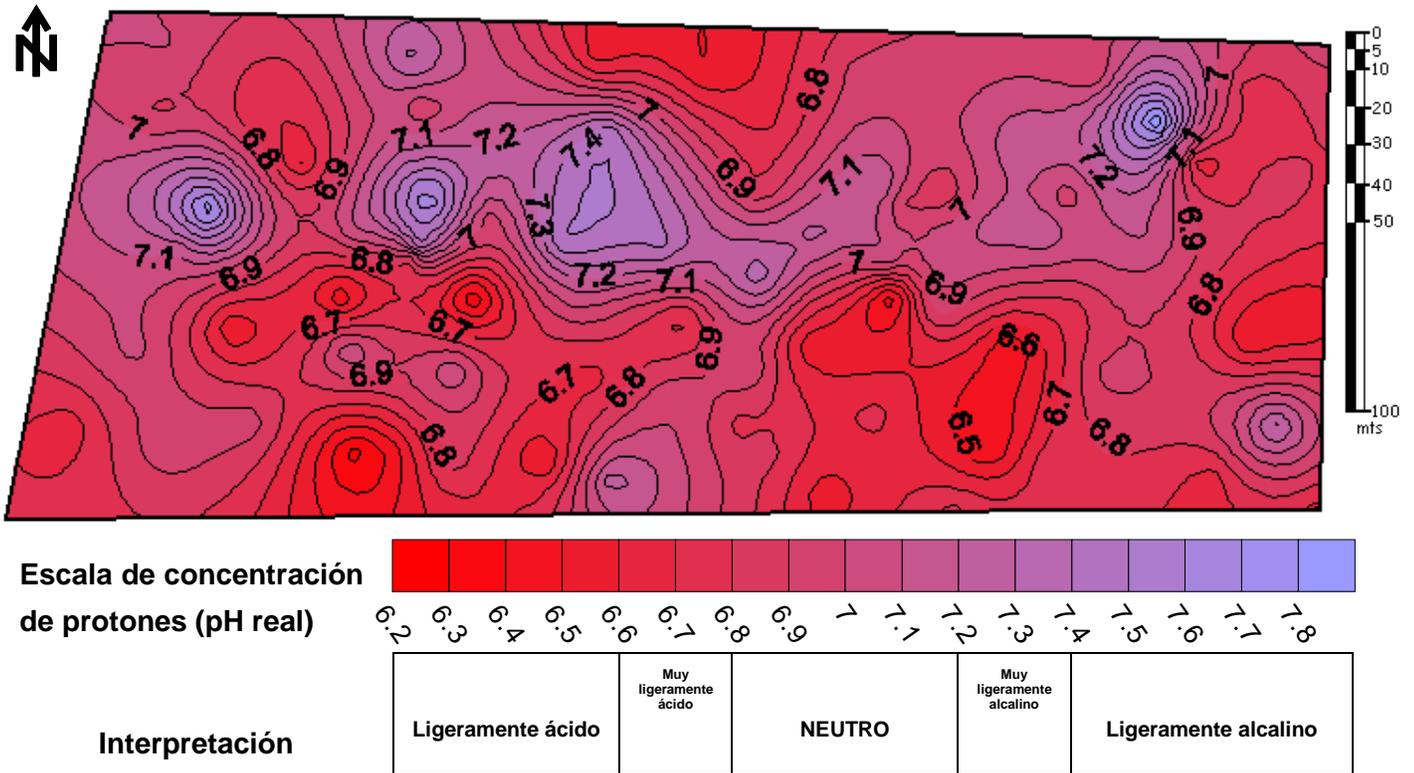


Tabla A. Interpretación de pH.

Fecha Muestreo: 14 de mayo 2005

Lugar: Huerto frutícola (parcela 7)

Ubicación GPS

Latitud Oeste: 99° 11"

Longitud Norte: 19° 41"

Area Total: 4.07ha

Número de Muestras: 96 muestras

Realizado en: Laboratorio 211 de investigación de Suelos. FESC-C4/UNAM

pH	CLASIFICACIÓN
Menor de 4.60	Extremadamente ácido.
4.60 - 5.19	Muy fuertemente ácido.
5.20 - 5.59	Fuertemente ácido.
5.60 - 6.19	Medianamente ácido.
6.20 - 6.59	Ligeramente ácido.
6.60 - 6.79	Muy ligeramente ácido.
6.80 - 7.19	NEUTRO.
7.20 - 7.39	Muy ligeramente alcalino.
7.40 - 7.79	Ligeramente alcalino.
7.80 - 8.39	Medianamente alcalino.
8.40 - 8.79	Fuertemente alcalino.
8.80 - 9.39	Muy fuertemente alcalino.
Mayor a 9.40	Extremadamente alcalino.

Autor: R. Moreno Dahme (1988).

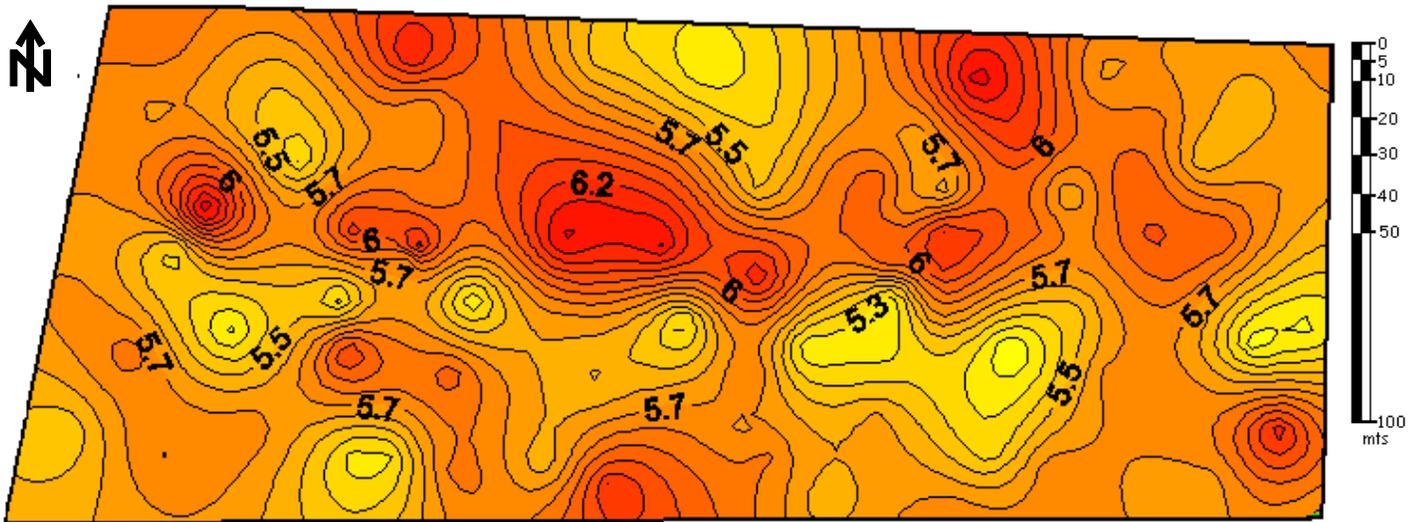
Interpretación de la variabilidad espacial del pH real.

Como se indicó anteriormente el pH del suelo, entre otros aspectos influye en la solubilidad y disponibilidad de los diversos nutrientes para las plantas y modifica la actividad de los microorganismos del suelo^{13,18}, su valor óptimo para la mayoría de los cultivos se encuentra entre 6.8 a 7.2

La distribución espacial del pH real en el huerto como se puede observar en la escala del mapa va en un intervalo de pH de 6.2 a 7.8 que corresponde de ligeramente ácido a ligeramente alcalino que cubren una extensión aproximada del 89% de la superficie total del terreno, la cual en su mayoría presenta un pH neutro. Las zonas con pH más bajo se encuentran distribuidas en su mayoría en la parte central del mapa.

Los valores más bajos corresponden a las muestras: 5, 13, 25, 28, 37, 60, 62, 74, 92 y 95 y los más altos corresponden a las muestras: 8, 22, 23, 47, 50 y 96.

5.2. Variabilidad espacial del pH potencial (mapa 4)



Escala de concentración de protones (pH potencial)



Interpretación

Muy fuertement e ácido	Fuertemente ácido	Medianamente ácido	Ligeramente ácido
------------------------	-------------------	--------------------	-------------------

Fecha Muestreo: 14 de mayo 2005

Lugar: Huerto frutícola (parcela 7)

Ubicación GPS

Latitud Oeste: 99° 11"

Longitud Norte: 19° 41"

Area Total: 4.07ha

Número de Muestras: 96 muestras

Realizado en: Laboratorio 211 de investigación de Suelos. FESC-C4/UNAM

Tabla A. Interpretación de pH.

pH	CLASIFICACIÓN
Menor de 4.60	Extremadamente ácido.
4.60 - 5.19	Muy fuertemente ácido.
5.20 - 5.59	Fuertemente ácido.
5.60 - 6.19	Medianamente ácido.
6.20 - 6.59	Ligeramente ácido.
6.60 - 6.79	Muy ligeramente ácido.
6.80 - 7.19	NEUTRO.
7.20 - 7.39	Muy ligeramente alcalino.
7.40 - 7.79	Ligeramente alcalino.
7.80 - 8.39	Medianamente alcalino.
8.40 - 8.79	Fuertemente alcalino.
8.80 - 9.39	Muy fuertemente alcalino.
Mayor a 9.40	Extremadamente alcalino.

Autor: R. Moreno Dahme (1988).

Interpretación de la variabilidad espacial del pH potencial

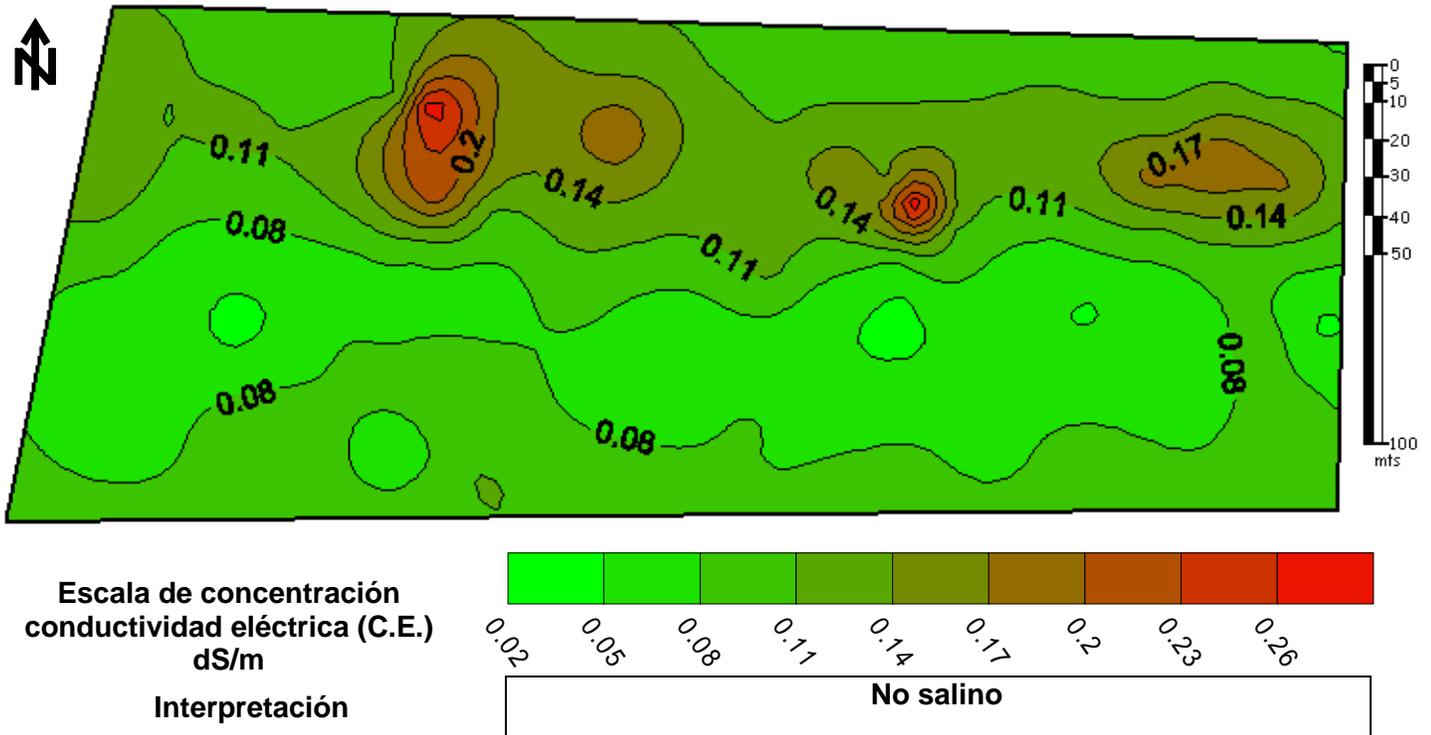
La distribución espacial del pH potencial en el huerto como se observa en la escala de color del mapa va en un intervalo de pH de 5.1 a 6.4 que corresponde a valores que van de muy fuertemente ácido a ligeramente alcalino, donde predomina un pH ácido y equivalen al 83.6% de la superficie del terreno, las zonas mas ácidas se encuentran ubicadas en la parte central del mapa y corresponden a las muestras: 5, 7, 13, 15, 25, 28, 42, 45, 58, 60, 62, 75, 92, y 95.

Las muestras menos ácidos corresponden a las muestras: 8, 11, 19, 23, 24, 32, 40, 47, 50, 64, 66, 81 y 96.

El intervalo de pH real es adecuado para varios árboles frutales como con los que se encuentran en el huerto y como son manzano, peral, ciruelo y otras que se pueden agregar como limonero, naranjo y tejocote.

En general el pH del suelo del huerto va tendiendo a acidificarse, por lo se debe tener control en el tipo de fertilizante que se adiciona para evitar su deterioro evitando así, que se reduzca el rendimiento de los cultivos que en él se siembren. ^{13, 16}

5.3. Variabilidad espacial de la conductividad eléctrica (mapa 5).



Fecha Muestreo: 14 de mayo 2005

Lugar: Huerto frutícola (parcela 7)

Ubicación GPS

Latitud Oeste: 99° 11"

Longitud Norte: 19° 41"

Area Total: 4.07ha

Número de Muestras: 96 muestras

Realizado en: Laboratorio 211 de investigación de Suelos. FESC-C4/UNAM

Tabla B. Interpretación de la conductividad eléctrica (C.E.).

C.E. ds m ⁻¹	CLASIFICACIÓN	SIGNIFICADO.
Menor de 2	No salino	La salinidad casi nula.
2 – 4	Ligeramente salino.	Los rendimientos de los cultivos pueden ser restringidos.
4 – 8	Medianamente salino.	Se reducen los rendimientos de muchos cultivos.
8 – 16	Fuertemente salino.	Solo los cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente.
Mayor a 16	Extremadamente salino.	Solo unos cultivos muy tolerantes resisten.

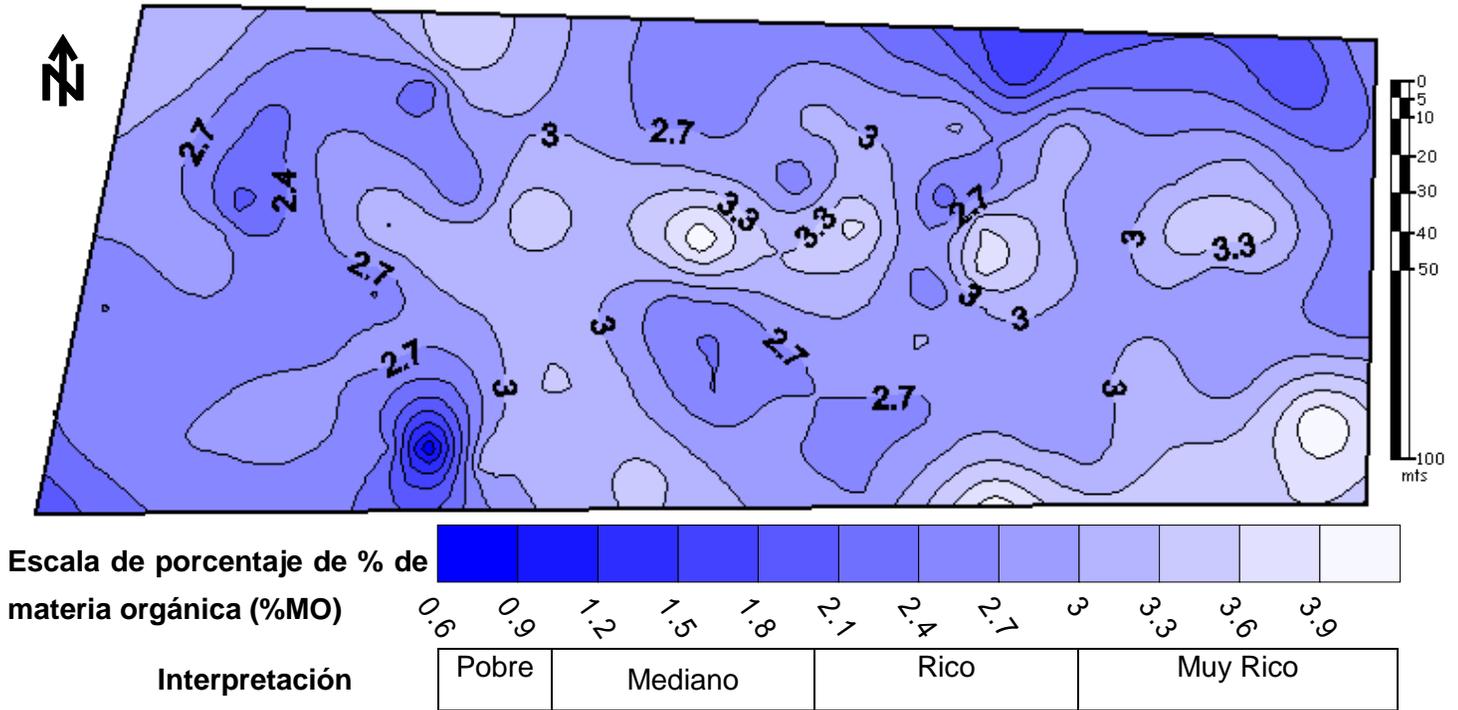
Autor: Lab. Salinidad U.S.D.A. – Riverside, California. (1988).

Interpretación de la variabilidad espacial de la conductividad eléctrica

El huerto en toda su extensión se considera no salino, ya que se encuentra la conductividad eléctrica en un intervalo de 0.02 a 0.28 (95.5% de la superficie total) y solo en las muestras: 20, 31, 64 y 88 (4.5%) se encuentra un ligero aumento en la concentración de sales. ^{13,3}

En este rango pueden prosperar todos los árboles frutales, por mencionar algunos como el limón, naranja, pera manzana y durazno. Además de los tipos de cultivos de maíz, frijol, avena, alfalfa, etc. ²⁵

5.4. Variabilidad espacial del porcentaje de materia orgánica (mapa 6)



Fecha Muestreo: 14 de mayo 2005

Lugar: Huerto frutícola (parcela 7)

Ubicación GPS

Latitud Oeste: 99° 11"

Longitud Norte: 19° 41"

Area Total: 4.07ha

Número de Muestras: 96 muestras

Realizado en: Laboratorio 211 de investigación de Suelos. FESC-C4/UNAM

Tabla C. Interpretación del porcentaje de materia orgánica (% M.O.)

PORCENTAJE (%) DE MO	INTERPRETACIÓN
Menos de 0.25	Extremadamente pobre.
0.25 - 0.50	Muy pobre.
0.50 - 1.00	Pobre.
1.00 - 2.00	Medianamente pobre.
2.00 - 3.00	Rico.
3.00 - 4.00	Muy rico.
Más de 4.00	Extremadamente rico.

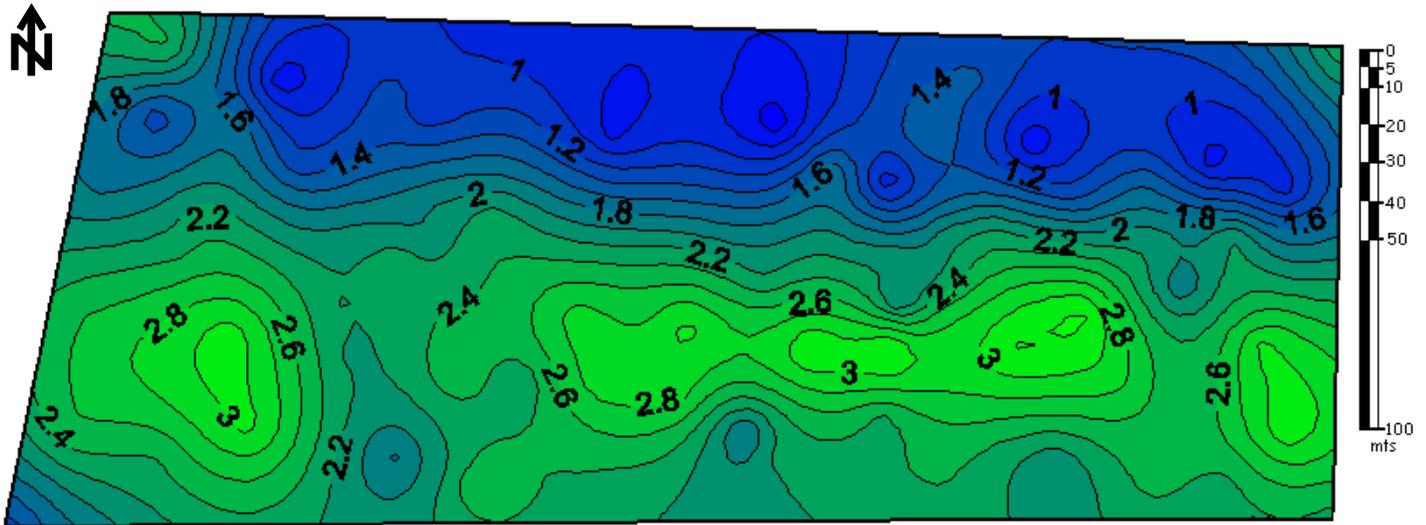
Autor: R. Moreno Dahme (1988).

Interpretación de la variabilidad espacial del porcentaje de materia orgánica.

A partir de la observación del mapa de variabilidad, podemos decir que la cantidad de materia orgánica en el huerto es adecuada¹⁴ en el 95.5% de la superficie. Existen puntos donde se encuentran niveles elevados de materia orgánica que corresponden a las muestras 40, 51, 64, 73 y 82 y los niveles mas bajos corresponden a las muestras 36, 66 y 87.

Lo anterior es muy bueno, ya que la cantidad de materia orgánica que se encuentra presente, alcanza a cubrir los requerimientos de los cultivos del huerto de manera inmediata y se debe cuidar mantener estos niveles.

5.5. Variabilidad espacial de la concentración de sodio (mapa 7)



Escala de Concentración de sodio en ppm. (Na⁺ ppm)



Interpretación

Nivel bajo

Fecha Muestreo: 14 de mayo 2005

Lugar: Huerto frutícola (parcela 7)

Ubicación GPS

Latitud Oeste: 99° 11"

Longitud Norte: 19° 41"

Area Total: 4.07ha

Número de Muestras: 96 muestras

Realizado en: Laboratorio 211 de investigación de Suelos. FESC-C4/UNAM

Tabla D. Interpretación del contenido de sodio en ppm. (Na⁺ ppm)

Conc. de Na ⁺ en ppm.	NIVEL
0 – 200	Bajo
201 – 350	Medio
Más de 350	Alto

Autor: R. Moreno Dahme (1988).

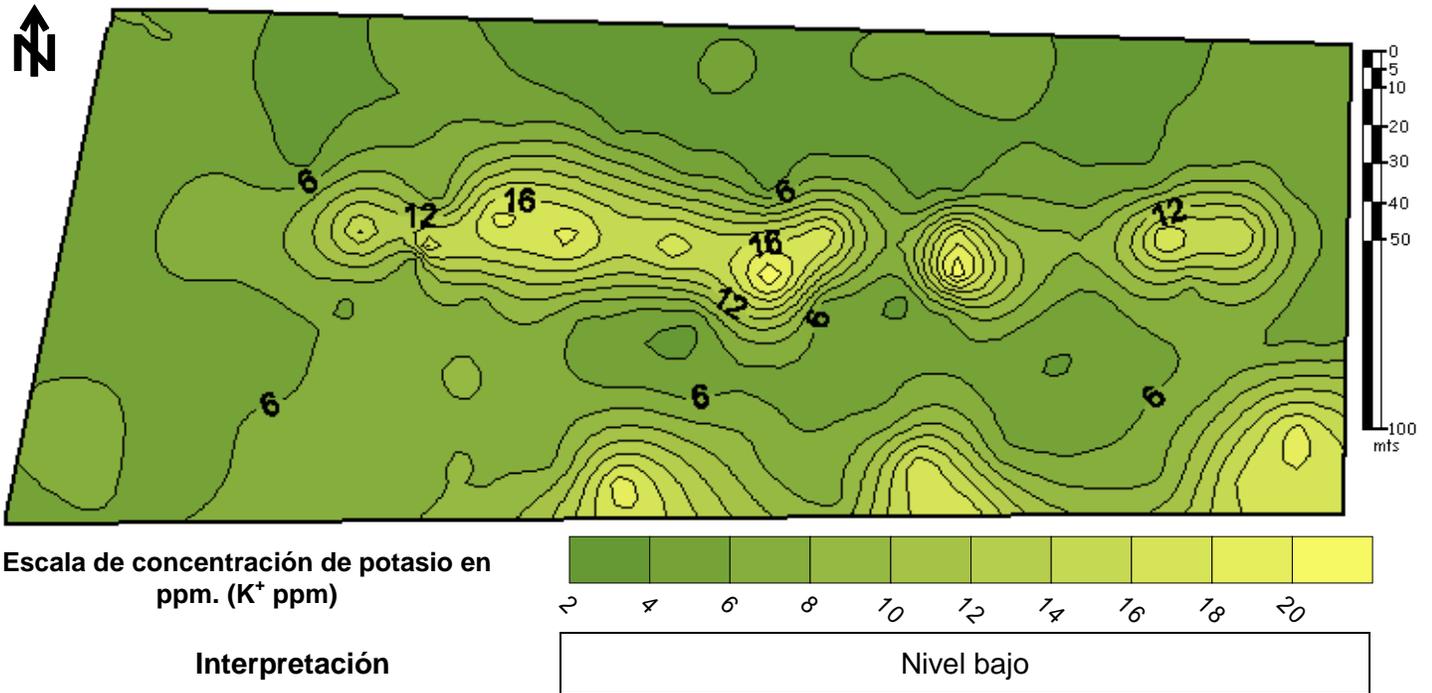
Interpretación de la variabilidad espacial de la concentración de sodio.

El sodio en grandes cantidades excluye por competencia de los sitios de intercambio al potasio, calcio y al magnesio, ya que se intercambia en lugar de los otros y el problema para la planta es grave por deficiencia de nutrimentos. Para la mayoría de cultivos el sodio no es un elemento esencial.^{19,21}

En el huerto se tiene un nivel bajo de sodio en un intervalo de 0.4 a 3.2 ppm. Esto es adecuado, ya que este elemento puede producir grandes problemas en los suelos cuando está presente en grandes concentraciones²⁴ y la producción agrícola se ve limitada por los efectos perjudiciales en el suelo y las plantas que producen al aumentar el pH.

Los niveles mas altos de sodio en el huerto se encuentran en la parte central hacia el sur del terreno y equivalen al 67.7% de la superficie total. Los valores más altos corresponden a las muestras: 15, 17, 38, 48, 58, 75, 82, 92 y 96. Y los valores más bajos a las muestras: 2, 10, 30, 31, 43, 55, 67 y 86.

5.6. Variabilidad espacial de la concentración de potasio (mapa 8)



Fecha Muestreo: 14 de mayo 2005

Lugar: Huerto frutícola (parcela 7)

Ubicación GPS

Latitud Oeste: 99° 11"

Longitud Norte: 19° 41"

Area Total: 4.07ha

Número de Muestras: 96 muestras

Realizado en: Laboratorio 211 de investigación de Suelos. FESC-C4/UNAM

Tabla E. Interpretación del contenido de potasio en ppm. (K^+ ppm)

Concentración de K^+ en ppm.	NIVEL
0 – 150	Bajo
150 – 350	Medio
350 – 500	Alto
Más de 500	Muy alto

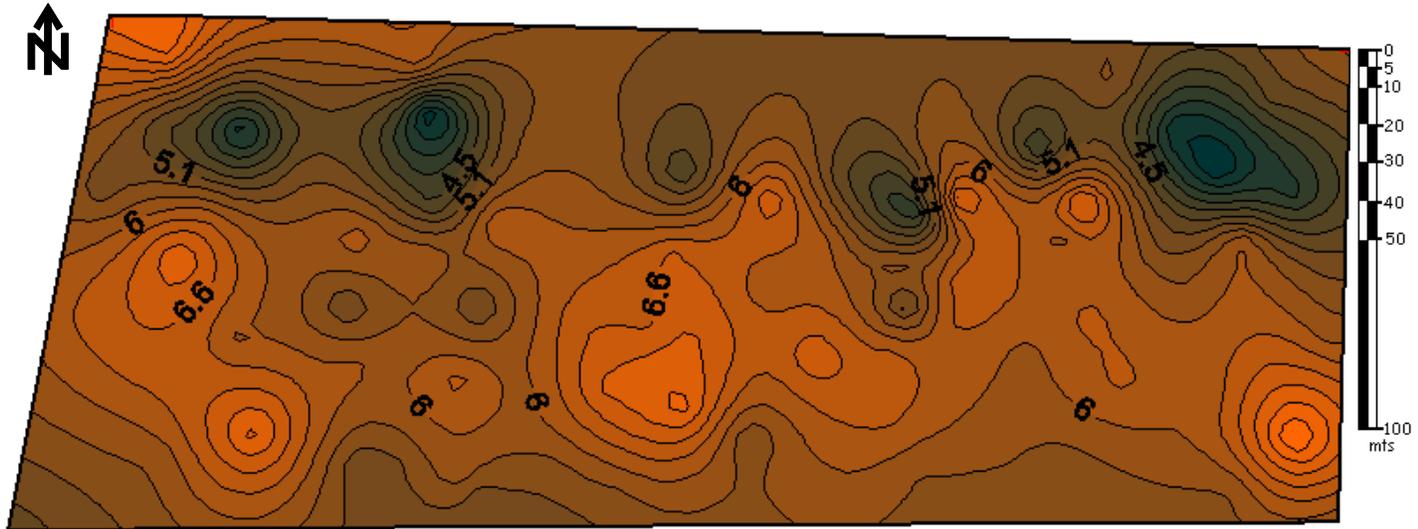
Autor: R. Moreno Dahme (1988).

Interpretación de la variabilidad espacial de la concentración de potasio.

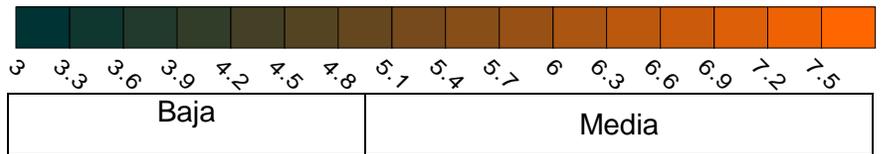
A pesar de que el potasio es un elemento esencial, en el huerto no se encuentra en cantidad adecuada ya que su nivel es bajo¹⁶ y está en el intervalo de 2 a 22 ppm. Dentro de este intervalo los valores más bajos corresponden al 10% de la superficie (muestras: 10, 12, 13, 30, 43, 44, 52, 54, 55, 62, 75, 78, 79, 80 y 87).

La deficiencia de potasio se manifiesta en las hojas de las plantas y árboles del lugar, las cuales se observaron ligeramente amarillentas comenzando por los bordes y en sus extremos tienen un color café. Por lo cual podría ser necesario agregar fertilizantes que aumente la concentración de este elemento.¹⁴

5.7. Variabilidad espacial de la concentración de calcio (mapa 9)



Escala de concentración calcio. (meq/100g de Ca²⁺)



Fecha Muestreo: 14 de mayo 2005

Lugar: Huerto frutícola (parcela 7)

Ubicación GPS

Latitud Oeste: 99° 11"

Longitud Norte: 19° 41"

Area Total: 4.07 ha

Número de Muestras: 96 muestras

Realizado en: Laboratorio 211 de investigación de Suelos. FESC-C4/UNAM

Tabla F. Interpretación de calcio en meq/100g

Contenido de Ca ²⁺ en meq/100g	CLASE
Menor a 2	Muy baja.
2 – 5	Baja.
5 – 10	Media.
Mayor a 10	Alta.

Autor: Etchevens. (1973)

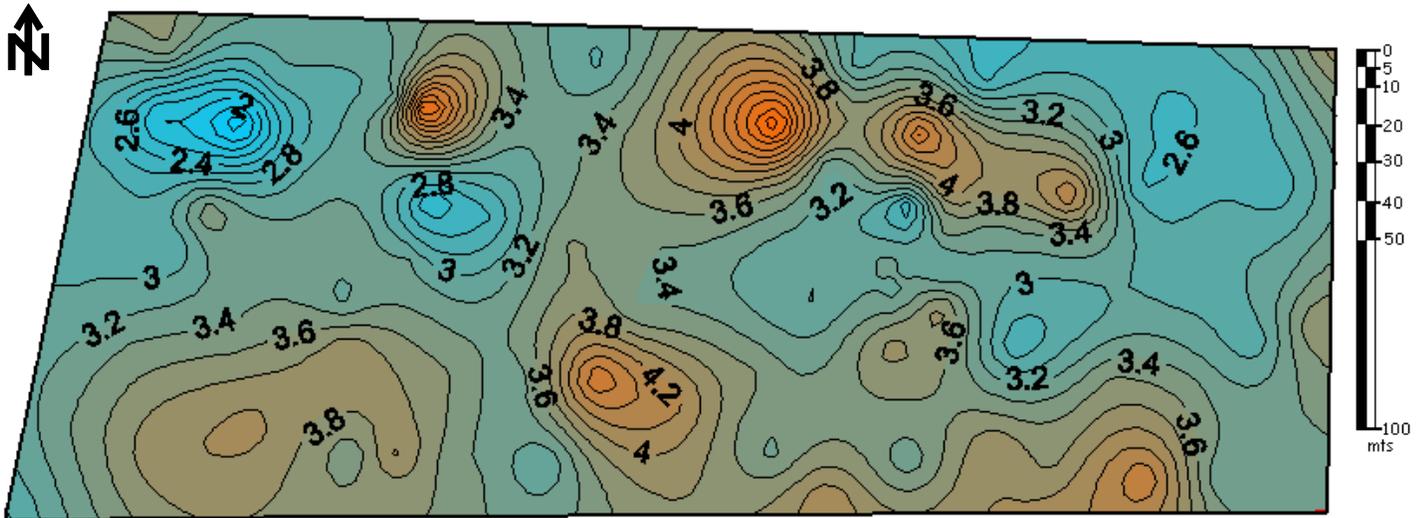
Interpretación de la variabilidad espacial de la concentración de calcio.

La menor cantidad de calcio se encuentra a lo largo del terreno de forma horizontal hacia el norte y corresponden al 36% de la superficie del terreno las muestras con valores mas bajos son 4, 20, 41, 56, 67 y 86.

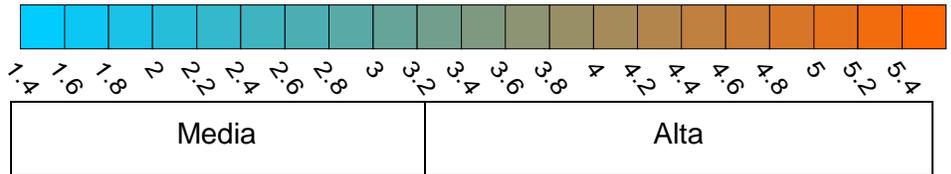
En el huerto predomina un nivel medio de calcio en un 64% de la superficie del terreno que va 5 a 7.5 Ca^{2+} meq/100g de suelo, las muestras con concentración más alta son: 1, 17, 27, 44, 46, 58, 65, 77 y 96.

Cuando se observan al mismo tiempo los mapas de calcio y pH, se nota que existe cierta similitud en la distribución espacial entre estas dos propiedades, en los lugares donde se tiene pHs ácidos la concentración de calcio se ve disminuida. Por lo que podría ser necesario realizar un encalado en aquellos lugares donde se considere conveniente.¹

5.8. Variabilidad espacial de la concentración de magnesio (mapa 10)



Escala de concentración de magnesio. (meq/100g de Mg²⁺)



Interpretación

Fecha Muestreo: 14 de mayo 2005

Lugar: Huerto frutícola (parcela 7)

Ubicación GPS

Latitud Oeste: 99° 11”

Longitud Norte: 19° 41”

Area Total: 4.07ha

Número de Muestras: 96 muestras

Realizado en: Laboratorio 211 de investigación de Suelos. FESC-C4/UNAM

Tabla G. Interpretación de magnesio en meq/100g

Contenido de Mg ²⁺ en meq/100g	Clase
Menor a 0.5	Muy baja
0.5 – 1.3	Baja
1.3 - 3.0	Media
Mayor a 3.00	Alta

Autor: Etchevens. (1973)

Interpretación de la variabilidad espacial de la concentración de magnesio.

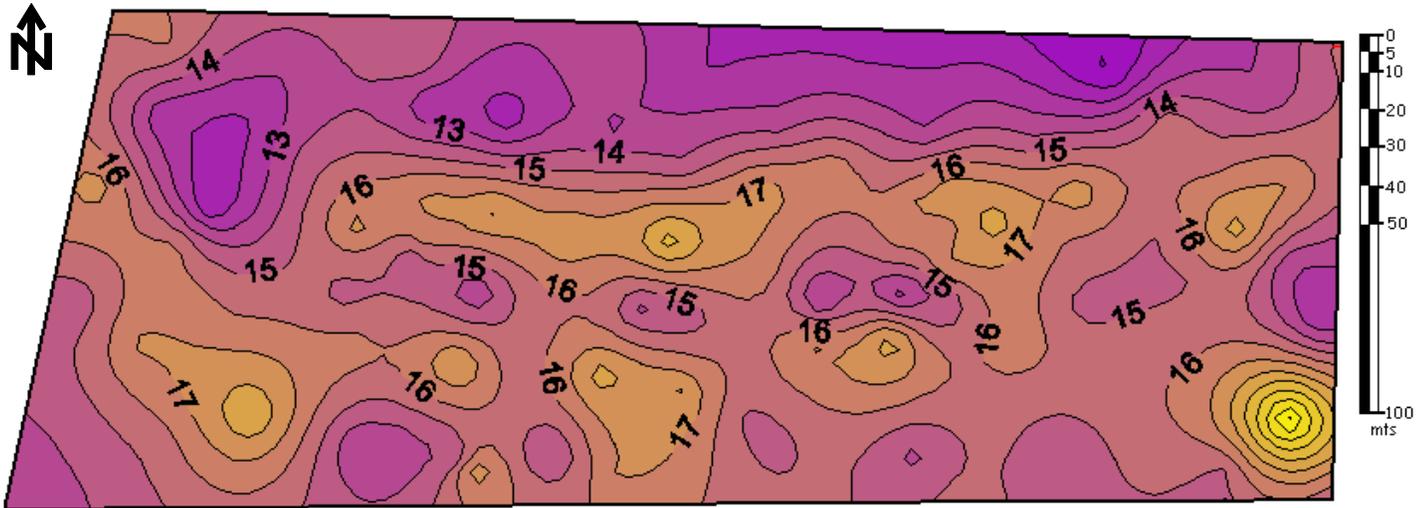
La concentración de magnesio en meq/cada 100g de suelo se encuentra entre un rango de 1.4 a 5.4, de media a alta respectivamente, predominando el intervalo de media con un 61% de la superficie del terreno y la alta al 39%.

Las muestras con un valor más alto son: 20, 38, 43, 54, 77 y 90.

Las muestras con los niveles más bajos son: 2, 22, 55, 72 y 75.

Debe de considerarse mantener en un nivel adecuado el magnesio por ser de gran importancia para la nutrición de la planta.¹⁶

5.9. Variabilidad espacial de la capacidad de intercambio catiónico total (C.I.C.T.) (mapa 11)



Escala de Concentración de los cationes intercambiables totales. (% de meq/100g de CICT)



Interpretación

Extremadamente baja	Muy baja	Pobre
---------------------	----------	-------

Fecha Muestreo: 14 de mayo 2005

Lugar: Huerto frutícola (parcela 7)

Ubicación GPS

Latitud Oeste: 99° 11"

Longitud Norte: 19° 41"

Area Total: 4.07ha

Número de Muestras: 96 muestras

Realizado en: Laboratorio 211 de investigación de Suelos. FESC-C4/UNAM

Tabla H. Interpretación de la capacidad de intercambio catiónico total (C.I.C.T.).

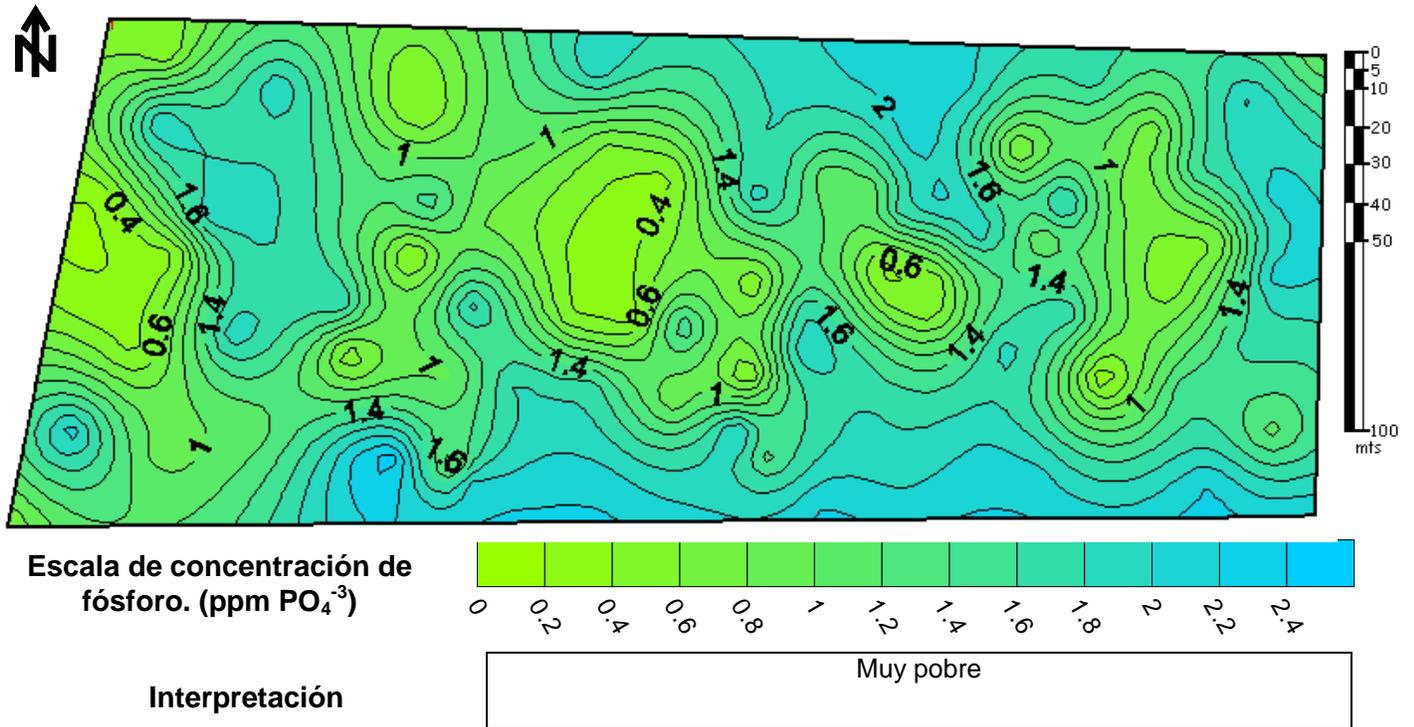
Porcentaje meq/100g de suelo.	Capacidad de intercambio catiónico total. (C.I.C.T.)
Menos de 10	Extremadamente baja.
10 – 20	Muy baja.
20 – 30	Pobre.
30 – 40	Baja.
40 – 50	MEDIA.
50 – 60	Alta.
Más de 60	Extremadamente alta.

Autores: Valencia Islas y De La Teja (1982)

Interpretación de la variabilidad espacial de capacidad de intercambio catiónico total.

La capacidad de intercambio cationico total del huerto frutícola va de 9 a 23 meq/100 g de suelo, extremadamente bajo a pobre en la escala de interpretación. Predomina el intervalo muy bajo que va de 12 a 18 meq/100 g de suelo, se observan niveles muy uniformes casi en toda la superficie del terreno que equivalen al 90% de la superficie total, los valores extremadamente bajos los presentan las muestras 17, 35 y 69. Los bajos valores en la capacidad de intercambio catiónico total implican que los elementos nutritivos se retendrán en bajas concentraciones a largo plazo por lo que se requerirán de aplicaciones continuas.¹

5.10. Variabilidad espacial de la concentración de fósforo (mapa 12)



Fecha Muestreo: 14 de mayo 2005

Lugar: Huerto frutícola (parcela 7)

Ubicación GPS

Latitud Oeste: 99° 11"

Longitud Norte: 19° 41"

Area Total: 4.07ha

Número de Muestras: 96 muestras

Realizado en: Laboratorio 211 de investigación de Suelos. FESC-C4/UNAM

Tabla I. Interpretación de concentración de fósforo. (ppm PO₄⁻³)

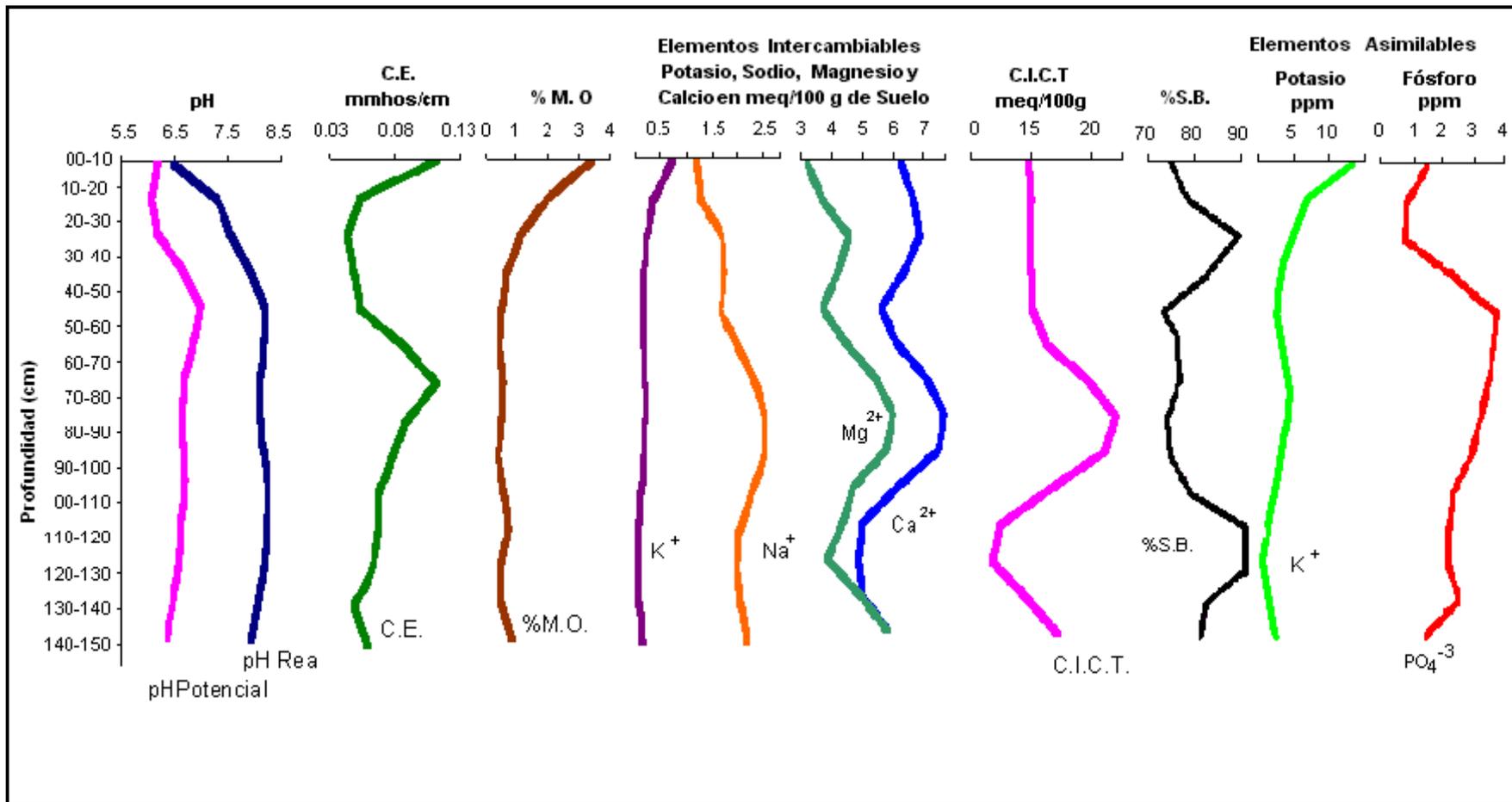
Concentración de fósforo. (ppm PO ₄ ⁻³)	NIVEL
0 – 3.5	Muy pobre
3.5 – 8.5	Pobre
8.5 – 17	Medio
17 – 35	Rico
35 – 45	Muy rico

Autores: Valencia Islas.

Interpretación de la variabilidad espacial de la concentración de fósforo asimilable.

La variabilidad espacial del fósforo en el huerto, se encuentra de 0 a 2.4 ppm, con una interpretación de muy pobre y corresponde al 100% de la superficie del terreno. Sin embargo existen puntos altos y bajos, donde sobresalen las muestras con valores mas altos son: 2, 5, 8, 10, 15, 25, 30, 37, 47, 53, 54, 58, 72, 73, 74, 77, 83, 87, 90, 91, 93 y 94. Los niveles bajos son: 3, 4, 11, 23, 24, 32, 34, 39, 41, 63, 64, 67, 80, 84 y 85. Ya que el fósforo es muy importante para la formación y el crecimiento de la planta¹². Es importante recomendar un fertilizante o mejorador que sirva para elevar la concentración de fósforo, así se tendría una mejora en los cultivos en este huerto.²³

5.11. Gráficas de la variación de las propiedades químicas del perfil de suelo del huerto frutícola de la FESC C-4/UNAM



5.12. Tablas de análisis de resultados e interpretación del perfil

Profundidad (cm)	pH potencial	pH real	Interpretación	% S.B. *	Interpretación	C.E. mmhos/cm	Interpretación
00-10	5.69	6.25	medianamente ácido a ligeramente ácido	72.84	Alto	0.16	sin problemas de salinidad
10-20.	6.00	7.17	medianamente ácido a neutro	71.99	Alto	0.06	sin problemas de salinidad
20-30	5.98	7.33	medianamente ácido a muy ligeramente alcalino	79.97	Alto	0.04	sin problemas de salinidad
30-40	6.25	7.65	ligeramente ácido a ligeramente alcalino	90.62	Extremadamente alto	0.04	sin problemas de salinidad
40-50	6.95	8.04	neutro a medianamente alcalino	68.46	Alto	0.05	sin problemas de salinidad
50-60	6.94	8.20	neutro a medianamente alcalino	73.01	Alto	0.05	sin problemas de salinidad
60-70	6.68	8.05	muy ligeramente ácido a medianamente alcalino	75.69	Alto	0.12	sin problemas de salinidad
70-80	6.60	8.07	muy ligeramente ácido a medianamente alcalino	72.03	Alto	0.10	sin problemas de salinidad
80-90	6.60	8.02	muy ligeramente ácido a medianamente alcalino	71.41	Alto	0.07	sin problemas de salinidad
90-100	6.65	8.18	muy ligeramente ácido a medianamente alcalino	73.83	Alto	0.08	sin problemas de salinidad
100-110	6.65	8.22	muy ligeramente ácido a medianamente alcalino	79.52	Alto	0.05	sin problemas de salinidad
110-120	6.53	8.13	ligeramente ácido a medianamente alcalino	95.14	Extremadamente alto	0.08	sin problemas de salinidad
120-130	6.59	8.20	ligeramente ácido a medianamente alcalino	78.97	Alto	0.04	sin problemas de salinidad
130-140	6.34	7.92	ligeramente ácido a medianamente alcalino	79.59	Alto	0.05	sin problemas de salinidad
140-150	6.36	7.94	ligeramente ácido a medianamente alcalino	75.33	Alto	0.06	sin problemas de salinidad

*%S.B. = Porcentaje de Saturación de Bases

“Variabilidad espacial de las propiedades químicas del huerto frutícola de la FESC C-4 / UNAM.”

Profundidad (cm)	BASES INTERCAMBIABLES meq/100 g de suelo								CICT meq/100g suelo	Interpretación
	Sodio	Interpretación	Potasio	Interpretación	Calcio	Interpretación	Magnesio	Interpretación		
00-10	1.04	sin sodicidad	0.52	medio	6.11	medio	3.27	alto	15.02	muy baja
10-20.	1.08	sin sodicidad	0.21	medio	6.46	medio	3.2	alto	15.21	muy baja
20-30	1.22	sin sodicidad	0.15	bajo	6.92	medio	4.21	alto	15.63	muy baja
30-40	1.76	sin sodicidad	0.1	muy bajo	6.86	medio	4.9	alto	15.03	muy baja
40-50	1.33	sin sodicidad	0.07	muy bajo	5.87	medio	3.56	alto	15.82	muy baja
50-60	1.62	sin sodicidad	0.08	muy bajo	5.41	medio	3.87	alto	15.04	muy baja
60-70	1.94	sin sodicidad	0.11	muy bajo	6.86	medio	5.1	alto	18.51	muy baja
70-80	2.23	sin sodicidad	0.11	muy bajo	7.37	medio	5.87	alto	21.63	pobre
80-90	2.26	sin sodicidad	0.1	muy bajo	8.03	medio	6.17	alto	23.19	pobre
90-100	2.19	sin sodicidad	0.08	muy bajo	6.95	medio	5.39	alto	19.79	muy baja

“Variabilidad espacial de las propiedades químicas del huerto frutícola de la FESC C-4 / UNAM.”

Profundidad (cm)	BASES INTERCAMBIABLES meq/100 g de suelo								CICT meq/100g suelo	Interpretación
	Sodio	Interpretación	Potasio	Interpretación	Calcio	Interpretación	Magnesio	Interpretación		
100-110	1.83	sin sodicidad	0.05	muy bajo	5.36	medio	4.02	alto	14.16	muy baja
110-120	1.79	sin sodicidad	0.03	muy bajo	4.69	bajo	4.66	alto	11.74	muy baja
120-130	1.72	sin sodicidad	0.02	muy bajo	5.06	medio	3.04	alto	12.46	muy baja
130-140	1.94	sin sodicidad	0.07	muy bajo	5.03	medio	6.92	alto	17.54	muy baja
140-150	1.9	sin sodicidad	0.07	muy bajo	6.58	medio	4.76	alto	17.67	muy baja

“Variabilidad espacial de las propiedades químicas del huerto frutícola de la FESC C-4 / UNAM.”

Profundidad (cm)	Fósforo asimilable ppm	Interpretación	Potasio asimilable ppm	Interpretación	% M.O.	Interpretación
00-10	2.18	muy bajo	20.15	Bajo	4.16	extremadamente rico
10-20.	0.84	muy bajo	8.16	Bajo	2.64	rico
20-30	0.82	muy bajo	5.72	Bajo	1.46	mediano
30-40	0.72	muy bajo	4.03	Bajo	0.87	pobre
40-50	3.94	muy bajo	2.85	Bajo	0.64	pobre
50-60	3.32	muy bajo	2.97	Bajo	0.58	pobre
60-70	3.94	muy bajo	4.44	Bajo	0.47	muy pobre
70-80	2.97	muy bajo	4.32	Bajo	0.81	pobre
80-90	3.44	muy bajo	3.93	Bajo	0.41	muy pobre
90-100	2.43	muy bajo	3.11	Bajo	0.52	pobre
100-110	2.28	muy bajo	1.91	Bajo	0.78	pobre
110-120	2.14	muy bajo	1.20	Bajo	0.85	pobre
120-130	2.25	muy bajo	0.85	Bajo	0.28	muy pobre
130-140	2.81	muy bajo	2.85	Bajo	0.85	pobre
140-150	0.10	muy bajo	2.88	Bajo	0.97	pobre

Interpretación de la variabilidad de los resultados del análisis químico a lo largo del perfil. ^{9 16}

La ubicación del perfil de suelo se hizo considerando que el lugar en el que se cavó estuviera lo menos alterado posible²⁵ y además fuera representativo de la zona de estudio, por lo que la variación de las propiedades químicas mostradas en las gráficas se pueden utilizar para concluir sobre las propiedades evaluadas en toda la zona.

En la gráfica de materia orgánica se observa el comportamiento natural de esta propiedad ya que conforme se desciende en la profundidad el contenido de materia orgánica disminuye hasta los 50 cm. posteriormente se mantiene casi constante hasta los 150 cm. Esta distribución es normal, ya que regularmente la materia orgánica se deposita en la superficie del suelo y es incorporada por medio de las prácticas de cultivo o por los organismos del suelo, para ser posteriormente descompuesta e integrada como nutrimento.

Los elementos intercambiables como el sodio, magnesio y el calcio se encuentran en una mayor cantidad que el potasio, que es uno de los elementos esenciales para la planta, junto con el nitrógeno y el fósforo; el potasio mantuvo un comportamiento casi constante a lo largo del perfil del suelo. El comportamiento de las bases intercambiables a lo largo del perfil es similar para el sodio, calcio y magnesio, ya que alrededor de los 50 cm a los 100 cm se observa un aumento considerable en su concentración sin llegar a ser el efecto del sodio perjudicial para los cultivos o las especies arbóreas que crecen en el huerto, después de los 100 cm la concentración de estas bases decrece hasta los 130 cm este comportamiento es similar al que se observa en la capacidad de intercambio catiónico total cuyo valor es muy bajo en todo el perfil y aumenta al igual que el de las bases intercambiables de los 50 cm a lo 100 cm y disminuye posteriormente.

El porcentaje de saturación de bases (%SB) es la medida que se utiliza para conocer la cantidad de bases intercambiables que ocupan los sitios de intercambio en el suelo y está relacionada con su fertilidad ya que a mayor saturación se tendrán mayor cantidad de los elementos intercambiables, esto se cumple solo cuando el sodio se encuentra en bajas concentraciones. La capacidad de regular la absorción y movilización, de los H⁺ también depende de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, por lo que el pH también está

relacionado con el porcentaje de saturación de bases, así que a bajos valores del % SB se esperará tener pH mas bajo y el % SB más altos o del 100% se tendrían valores de pH neutros a ligeramente alcalinos como en este caso del suelo del huerto frutícola, cuando la concentración del sodio es alta el pH será fuertemente alcalino¹⁶.

Las gráficas de pH potencial y pH real muestran un pequeño aumento de los 0 cm a los 50 cm para después permanecer constantes a lo largo del perfil sin presentar problemas de alcalinidad, las gráficas de variación entre ambos pH es muy similar y nos indica el rango en el que se deben establecer los cultivos óptimos.

En el caso del fósforo asimilable el aumento de la concentración se aprecia a partir de los 30 cm de profundidad hasta los 50 cm. esto se puede deber al lavado de los fertilizantes fosfatados que se utilizan en el huerto. El potasio asimilable muestra un comportamiento contrario y disminuye considerablemente hasta los 30 cm. Para posteriormente mantenerse casi constante, para ambos nutrientes su concentración es baja.

En términos generales no se observan problemas de salinidad en el perfil lo cual es benéfico para los cultivos que ahí crecen.

Capítulo 6. Discusión de los resultados

Las características químicas de la parcela número 7 del huerto frutícola de la FESC/UNAM campo 4, son óptimos. En resumen se observa que el pH real es ligeramente ácido a ligeramente alcalino predominando el pH neutro. El pH potencial es neutro y tiende hacia la acidificación. Respecto a la conductividad eléctrica el suelo se le clasifica como no salino, la cantidad de materia orgánica es adecuada en la mayor parte del terreno, el huerto se tiene un nivel bajo de sodio lo que no ocasiona problemas para las plantas que ahí crecen. El potasio aunque es un elemento esencial no se encuentra en cantidad adecuada ya que su nivel es bajo. El calcio tiene un nivel medio y la capacidad de intercambio cationico es baja lo que indica que los elementos nutritivos a largo plazo casi no se retendrán por lo que se requerirán de aplicaciones periódicas y en el caso del fósforo se tiene una concentración muy pobre, como este elemento es muy importante para la nutrición de las plantas se deben de tomar medidas para este caso.

En conjunto en su mayoría todas estas propiedades químicas son adecuadas para los cultivos que ahí crecen y solo debe de considerarse la remediación de las deficiencias con el uso de mejoradores y/o fertilizantes adecuados, lo que se deja al criterio del Ingeniero Agrícola.

Actualmente los equipos de GPS tienen un bajo costo que varia en función de los modelos y marcas. Poco a poco se ha ido introduciendo este sistema a equipos de telefonía celular, relojes, vehículos, con muy diversos fines, poniendo así este sistema al alcance de mucha gente. En el aspecto agrícola, existen tractores, cosechadoras y otros equipos que ya cuentan con este sistema de posicionamiento.

Los programas para la elaboración de los mapas se pueden conseguir a costo accesible por medio del internet. Lo importante es conocer la interfaz del programa y sus requerimientos de hardware aprovechando que los equipos de cómputo ya son muy comunes y útiles para otras aplicaciones.

Cada equipo tiene una variación de acuerdo a sus características prácticas (marca, modelo, precisión, etc.) por lo que es necesario que para todos los estudios se use el

mismo equipo y/o se cuide que tenga los parámetros internos adecuados.

Cuando se usan dos equipos de GPS, para ubicar los puntos de muestreo se deben considerar las diferencias entre ambos para hacer los ajustes necesarios al recopilar los datos. También se puede realizar la comparación con puntos GPS reconocidos, estos pueden corresponder a estaciones meteorológicas o de lugares previamente georeferenciados, de preferencia cercanos al lugar de muestreo. Al no estar capacitado en el uso del GPS puede producir errores en la obtención de los puntos para la elaboración de los mapas de variabilidad. Por lo que se requiere que el personal encargado de manejar el equipo GPS tenga la adecuada capacitación.

La confiabilidad de este procedimiento depende principalmente de realizar correctamente el muestreo de suelos, y de un análisis químico de las muestras cuidadoso, ya que la mala georeferenciación de los puntos y el valor erróneo de los resultados del análisis, puede dar como consecuencia un mapa de variabilidad incorrecto, y todas las recomendaciones que se realicen serán inadecuadas, desperdiciando los recursos empleados.

En países como Argentina, Chile, Estados Unidos, Suiza, España entre otros, en donde la agricultura es la principal actividad económica; la agricultura de precisión es una práctica que se ha realizado desde el año 1995³⁰ y se ha mejorado desde el 2002, gracias a la continua mejora de la tecnología aplicada en esta área.

La práctica de la agricultura de precisión en nuestro país, aún no ha tenido gran difusión, sin embargo se esta comenzando a emplear para la obtención de mapas de rendimiento en cañaverales con buenos resultados por lo que podría ser conveniente iniciar a extender el uso de esta practica a cultivos altamente redituables. La introducción de esta tecnología al campo tiene un costo elevado, pero a la larga podría llegar a ser rentable por la correcta y necesaria aplicación de los mejoradores, fertilizantes o abonos al suelo.

Con base en los mapas obtenidos conviene dar seguimiento a este trabajo muestreando sólo aquellos puntos en los que la variación observada en el terreno haya requerido de alguna modificación. Se sugiere que el muestreo contemple solo la toma de muestras de

los lugares que podrían haber estado sometidos a variación por el manejo que se hace del huerto, aunque por tratarse de cultivos perennes este manejo no es muy intensivo.

Como un trabajo de investigación posterior a este se sugiere elaborar los mapas de variabilidad espacial para las propiedades físicas del suelo del huerto frutícola de la FESC/UNAM como son: textura, densidad aparente y real, porcentaje de espacio poroso y color para poder observar la distribución de estas propiedades en el terreno.

En este trabajo de tesis se ha mostrado como se elaboran los mapas de variabilidad espacial para poder observar como se distribuyen los principales componentes químicos en el suelo, también se puede aplicar a compuestos químicos orgánicos e inorgánicos que se encuentran en cantidades que pueden ser consideradas como contaminantes y que representan un riesgo a la salud, tanto para el hombre, animales y plantas o que deterioran al suelo. Otra aplicación sería utilizar esta metodología para elaborar mapas de impacto ambiental considerando el análisis de los principales contaminantes en el suelo.

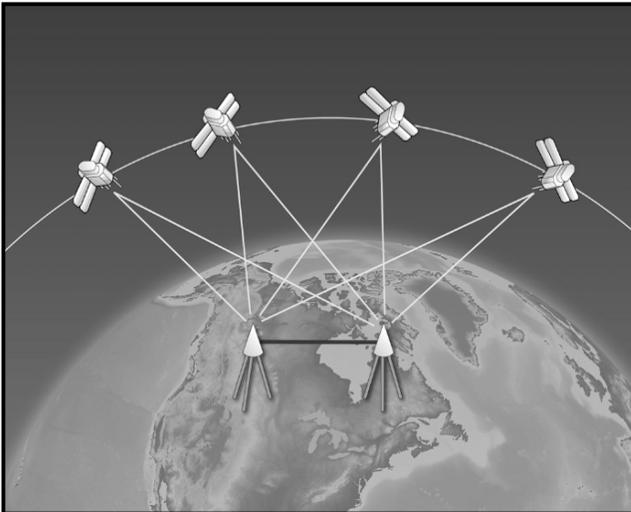
Capítulo 7. Conclusiones

- ✓ El objetivo general se cumplió satisfactoriamente, ya que la variabilidad de las propiedades químicas que confieren fertilidad al suelo fueron representadas a través de los mapas y gráficas.
- ✓ Los aspectos teóricos sobre el estudio, tratamiento y análisis del suelo y su variabilidad nos permiten tener una visión acerca de la importancia, manejo y tratamiento de este recurso natural.
- ✓ Se propuso un diseño de muestreo georeferenciado para la toma de muestras, empleando un equipo de GPS, el cual podrá ser usado en otros estudios del área ambiental o por docentes interesados en la elaboración de mapas de variabilidad espacial del suelo en futuras investigaciones.
- ✓ Se implemento un sistema de información geográfica para la obtención de dos mapas que muestran los lugares en donde se recolectaron las muestras analizadas.
- ✓ Se obtuvieron 10 mapas de variabilidad espacial de cada una de las principales propiedades químicas que dan características de fertilidad al suelo, como son: pH real, conductividad eléctrica, materia orgánica, calcio, magnesio, capacidad de intercambio catiónico total, sodio, potasio y fósforo del suelo en el huerto frutícola de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán campo 4.
- ✓ Se obtuvieron 12 graficas de las principales propiedades químicas que corresponden a la distribución de éstas a lo largo del perfil para observar la disponibilidad nutrimental en el suelo hacia la planta.
- ✓ Se diseñaron hojas de reporte que presentan los mapas de variabilidad espacial de cada una de las características químicas determinadas incluyendo los aspectos geográficos más importantes de la zona de estudio junto con la interpretación agronómica de éstas.
- ✓ Este trabajo de tesis es el inicio de un programa de caracterización de las propiedades químicas y físicas de los suelo de la FESC C-4/UNAM, por medio de la elaboración de mapas de variabilidad espacial y serán entregados por medio de este trabajo de tesis a los encargados de dicho huerto para llevar acabo su manejo.

Anexos

1. GPS

El Global Positioning System (GPS) o Sistema de Posicionamiento Global (aunque se le suele conocer más con las siglas GPS su nombre más correcto es NAVSTAR GPS) es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) el cual permite determinar en todo el mundo la posición de una persona, un vehículo o una nave, con una precisión de entre un metro y diez metros.



El sistema fue desarrollado e instalado, y actualmente es operado, por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

El GPS funciona mediante una red de satélites que se encuentran orbitando alrededor de la tierra. Cuando se desea determinar la posición, el aparato que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando

la posición y el reloj de cada uno de ellos.

En base a estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso de las señales, es decir, la distancia al satélite. Por “triangulación” calcula la posición en que éste se encuentra. Actualmente existen gran variedad de equipos GPS de pequeño tamaño y bastante accesible.

2. Software

a. Google Earth

Las fotografías aéreas y satelitales y los Sistemas de Información Geográfica han hecho posible el *Google Earth*, uno de los nuevos programas de Google.

Google Earth combina fotos satelitales (tomadas en los tres últimos años), mapas y una base de datos muy completa. Estos elementos permiten al usuario navegar libremente por cualquier lugar de la Tierra, observar detalladamente todos sus territorios y desplegar sobre estos, de manera simultánea, basándose en datos y fotografías reales, diversos tipos de información geográfica (topográfica, hidrográfica, demográfica, histórica y cultural, entre otros).

Puede utilizar google earth para:

- Observar la Tierra en tres dimensiones (como si la estuviera viendo desde el espacio) y rotarla libremente utilizando el ratón de la computadora.
- Seleccionar un territorio específico, aproximarse a él desde la atmósfera y observarlo desde diferentes alturas. A menor altura, mayor es el nivel de detalle.
- Desplazarse libremente entre ciudades de diferentes países del mundo, volar de un país a otro o de un continente a otro, cruzar océanos y recorrer territorios extensos como desiertos y selvas.
- Observar e identificar tipos o formas de relieve en cualquier lugar del mundo (nevados, volcanes, llanuras, cordilleras, valles, altiplanos, etc.) y conocer la medida exacta de su altura sobre el nivel del mar.
- Cambiar el ángulo de visualización de un territorio para poder observarlo en perspectiva.
- Visualizar meridianos, paralelos y trópicos.
- Conocer las coordenadas de cualquier punto de la tierra con solo ubicar el ratón sobre el sitio.
- Medir la distancia entre dos sitios por medio de una línea recta o trazando una trayectoria.

“variabilidad espacial de diversas propiedades químicas del huerto frutícola de la FESC campo 4/UNAM.”

Puede descargarse de forma gratuita de la página <http://earth.google.com/downloads.html> en un archivo ejecutable (googleearth.exe; 11 MB)

Antes de instalarlo en su computadora, tenga en cuenta los siguientes requerimientos:

Sistema operativo Windows 2000 o XP

Procesador mínimo de 500 MHz

Memoria RAM de 128 MB

Resolución de pantalla 1024x768, 32-bit
color verdadero

Tarjeta gráfica 3D de 16 MB VRAM

Conexión a Internet a 128 Kbps

Disco Duro de 200 MB

©2005Europa Technologies

Image © 2005 NASA

Image © 2005 TerraMetrics

b.- SURFER v 7.



Surfer v7 es esencialmente un programa para la interpolación y la cartografía en 2D y 3D, principalmente se realiza en una matriz a partir de una función matemática del tipo $z=f(x,y)$, o sea, se requiere de los datos en un plano coordinado además de los valores puntuales de cada uno. Como casi todos los programas que funcionan en ambiente windows, es

acompañado de un rico menú de ayudas. Es una gran herramienta informática con la cual pueden crearse mapas de superficie o de contorno, los cuales pueden también mostrarse en 3D. En el se emplean algoritmos semi-probabilísticos. Estos mapas digitalizados pueden sobreponerse en fotografías aéreas o satelitales.

Requerimientos del sistema

Windows 98, Windows 2000, Windows XP o más alto

55 MB de espacio en el disco duro libre

Mínimo 128 MB RAM.

Monitor 800 X 600 x 256 de resolución color.

Procesador de 333 MHz.

c. Grapher v.6.

Grapher es un paquete para crear gráficos de forma fácil y rápida de gran calidad. Se pueden crear gráficos de 3D o de 2D, se pueden personalizar cualquier gráfico para hacer de él un gráfico completamente único.

Hay cuatro tipos diferentes de gráficos en 2D:

1. Lineal.
2. Absoluto
3. Polar
4. Gráficos de especialidad.



“variabilidad espacial de diversas propiedades químicas del huerto frutícola de la FESC campo 4/UNAM.”

Además, muchos de éstos los tipos del gráfico están disponibles para ser vistos en 3D. Puede descargarse una versión demo de la página www.goldensoftware.com.

Requerimientos del sistema:

Windows 98, Windows 2000, Windows o, Windows XP o más alto

55 MB de espacio en el disco duro libre

Mínimo 128 MB RAM.

Monitor 800 X 600 x 256 de resolución color.

Procesador de 333 MHz.

Referencias

- **Bibliografía**

Aguirre Gómez Arturo et. al. *Manual de Laboratorio de Química 1 para Ing. Agrícola*. UNAM. 29ª Edición. México, 1985.

Aguirre Gómez Arturo. *Química de los Suelos Ácidos, Templados y Tropicales*. FESC/UNAM. México, 2001.

Black, C.A. *Relaciones suelo-planta (Tomo I)*. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 1975

Bohn. H.L. *Química del Suelo* Ed. Limusa-Grupo Noriega Editores. México. 1993

Cajuste L. J. *Química de suelos (con enfoque agrícola)*. Ed. Colegio de postgraduados (Chapingo). México. 1977

Carabias, J. y Leff, E. *Cultura y manejo sustentable de los recursos naturales. Vol. 1*. Centro de investigaciones interdisciplinarias en humanidades. Ed. Porrúa. 1ª edición. México. 1993

Cavazos Teresita / Rodríguez O. *Física de suelos*. Ed. Trillas. México. 1992

Contin A. *Investigación de suelos, métodos de laboratorio y procedimientos para recoger muestras*. Limusa. México. 1984

Cuanalo de la Cerda, H. *Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo*. Centro de postgraduados, México, 1981.

FitzPatrick. E.A. *Suelos Su formación, clasificación y distribución*. Ed. Compañía Editorial Continental S.A. México. 1985.

Fuentes Y. J. L. *Iniciación a la meteorología agrícola*. Ed. Mundi-Prensa. Barcelona, España. 1996

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). *Sistema Nacional de Información Geográfica*. México. 1998

Jackson, Marlon Leroy. *Análisis químico de suelos*. Omega, España, 1964.

Kononova M. M. *Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Ed. Oikos-tau. Barcelona, España. 1982.

Landa Reyes Francisco. *Reporte de Servicio Social de Ingeniería Agrícola*. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán /UNAM Laboratorio de investigación de suelos, México, 1995.

López Ritas, Julio. *El diagnóstico de suelos y plantas: Métodos de campo y laboratorio*. Mundiprensa. España, 1985.

Mascorro J. J. A./ Reyes B. S. *Reporte de Servicio Social de Química Industrial*. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán /UNAM Laboratorio de investigación de suelos, México, 2003.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). *Los análisis de suelos y de plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes*. Boletín de Suelos de FAO 38/2. 1984.

Pizarro, F. *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. Ed. Agrícola Española. Madrid, España. 1978

Primo, Yúfera E. y Carrasco Dorrien J. M. *Química agrícola (Suelos y fertilizantes, plaguicidas y fitorreguladores y alimentos)*. Alhambra. España, 1973.

Richards, L.A. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Limusa, México. 1973

Rodriguez, G.R. *Instructivo para la descripción de perfiles de suelos*. Subdirección de Agrología Subsecretaría de Planeación SARH, México, 1978.

Tamhane, R.V. *Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales*. Diana, México, 1978.

Valencia Islas Celia E. y Hernández B. Arcadia. *Manual de Prácticas para la Caracterización Física y Química de Muestras de Suelo y Composta*. CCH Atzacapotzalco - FESC/ UNAM. México, 1998.

Valencia Islas Celia E. y Hernández B. Arcadia.. *Manual de Muestreo de Suelos, Preparación de Muestras y Guía de Campo para Ingenieros Agrícolas*. FESC/UNAM. México, 2001.

- **Web.**

Agricultura y Agricultura de precisión

<http://es.wikipedia.org/wiki/Agricultura> 15 de agosto de 2005

<http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/articulos.htm> 18 de agosto del 2005

<http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/analecon.htm> 19 de agosto del 2005

<http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/sistpos.htm> 24 de agosto del 2005

<http://www.e-campo.com> 14 septiembre del 2005

<http://www.e-campo.com/?event=news.display&id=7A636F93-1027-1FA7-A0BFBA21E4E542AD&> 14 septiembre del 2005

http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/123/htm/sec_5.htm 14 septiembre del 2005

<http://www.inta.gov.ar/balcarce/index.htm> 14 septiembre del 2005

http://www.cizcalli.gob.mx/nuestro_mun/cap_02.html 11 de septiembre de 2005

http://www.fao.org/docrep/004_y_3557s/y3557s02.htm#b 22 de enero 2006

Sistema de posicionamiento global aplicado a la agricultura

<http://www.infoagro.com> 24/08/2005

http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/gps.asp 19 de agosto del 2005

http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/gps2.asp 19 de agosto del 2005

Software usado

<http://earth.google.com/downloads.html> ©2005Europa Technologies Image © 2005 NASA Image © 2005 TerraMetrics

Surfer y Grapher www.goldensoftware.com 19 septiembre 2005

Sistema de información geográfica

www.gisits.com mayo del 2005

Revolución verde

<http://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/#01>

<http://club.telepolis.com/geografo/rural/reverde.htm>

Variabilidad espacial

<http://www.inia.cl/at/espanol/v65n2/art11.pdf> 19 de agosto del 2005

- **Manuales de Usuario.**

CoPlot. Cohort Software. Manual revision 2.02v. Print in USA. 1998.

Golden Software Inc.. SURFER for Windows users guide, Golden Software Inch. Golden, CO, USA. 1995

GARMIN Personal Navigator. Owner’s manual. Print in Taiwan. Agust 2004.

Genessys 20 Manual de usuario de ThermoSpectronic Genesys 20.. Impreso en USA. 2001

Golden Software Inc. Grapher for Windows users guide, Golden Software Inch. Golden, CO, USA. 2004

HI 9932 Manual de usuario Medidor de Sobremesa Microprocesador Autorrango CE, TDS, NaCl, ° C. Hanna Ins. Impreso en USA. 2002.

HI 9932 Manual de usuario Medidor de Sobremesa Microprocesador pH. Hanna Ins. Impreso en USA. 2002.