

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



ESTUDIO DE SUELOS ÁCIDOS (pH MENOR O IGUAL A 5.5) CON POTENCIAL
AGRÍCOLA, EN LAS ZONAS DE COJUTEPEQUE Y CIUDAD ARCE.

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:

CIRO DAVID ALVAREZ SANTOS

HERBERTH WILFREDO BARILLAS CERRITOS

SAMUEL JONNATAN ZELAYA CAÑAS

PARA OPTAR AL GRADO DE
LICENCIATURA EN QUÍMICA Y FARMACIA.

SEPTIEMBRE DE 2004

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA

DRA. MARIA ISABEL RODRIGUEZ

SECRETARIA GENERAL

LIC. ALICIA MARGARITA RIVAS DE RECINOS

FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA

DECANO

LIC. SALVADOR CASTILLO AREVALO

SECRETARIA

MSc. MIRIAM DEL CARMEN RAMOS DE AGUILAR

COMITÉ DE PROCESO DE GRADUACIÓN

COORDINADORA GENERAL

LIC. MARIA CONCEPCIÓN ODETTE RAUDA ACEVEDO

ASESORA DE ÁREA DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS

DRA. GLORIA RUTH CALDERÓN

ASESORA DE ÁREA DE GESTIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

LIC. CECILIA GALLARDO DE VELASQUEZ.

DOCENTE DIRECTORA

ING. RINA LAVINIA HIDALGO DE MEDRANO

DEDICATORIA.

- A DIOS.** Por darme la fortaleza espiritual para lograr la finalización del presente trabajo.
- A MIS PADRES.** Por brindarme la guía que me ha permitido culminar su esfuerzo y dedicación a mi superación.
- A MIS HERMANAS.** Por siempre estar presentes dándome el apoyo que me empujó a seguir adelante.
- A MIS AMIGOS.** **Ciro David Alvarez, Samuel Jonnatan Zelaya, Felipe Alvarez, Karina Marisela Alas, José Miranda, Carlos Portillo, por darme su apoyo.**

Herberth Wilfredo Barillas Cerritos

DEDICATORIA

- A DIOS.** Por brindarme la vida, fortaleza espiritual y física para la realización del presente trabajo.
- A MIS PADRES.** Por darme su amor y la confianza para terminar este trabajo fruto de su esfuerzo.
- A MI HERMANA.** Por brindarme su apoyo moral incondicional.
- A MIS AMIGOS.** **Ciro David Alvarez, Herbeth Wilfredo Barillas, Rene Francisco Ramos, Amy Elieth Morán,** muchas gracias por el apoyo brindado.

Samuel Jonnatan Zelaya Cañas

DEDICATORIA.

- A DIOS.** Por darme la sabiduría necesaria para culminar este trabajo.
- A MIS PADRES.** Por apoyarme incondicionalmente en cualquier circunstancia de mi vida.
- A MIS HERMANAS.** Por apoyarme en todo momento y por toda su tolerancia.
- A MIS AMIGOS.** Herbeth Wilfredo Barillas, Jonnatan Zelaya, Ana Yanci Zamora, por todo el apoyo y ayuda brindada en todo este tiempo.

Ciro David Alvarez Santos

AGRADECIMIENTOS

A NUESTROS ASESORES Ing. Rina Lavinia Hidalgo de Medrano e Ing. Ricardo Medrano, por la orientación, tiempo, dedicación, y paciencia para la realización de este trabajo.

AL PERSONAL DEL LABORATORIO DE SUELOS (CENTA)

Lic. Sonia Bonilla de Alegría, Ing. Quirino Argueta, Ing. Sandra Najarro, Ing. Guadalupe Peña.

A LAS DOCENTES: Lic. Maria Elisa Vivar de Figueroa, Dra. Gloria Ruth Calderón, Lic. Odette Rauda, Lic. Cecilia Gallardo.

A todas la personas e instituciones involucradas que de una u otra manera nos dieron su colaboración para llevar a cabo la culminación del presente trabajo de graduación.

Ciro David Alvarez Santos

Herberth Wilfredo Barillas Cerritos

Samuel Jonathan Zelaya Cañas

INDICE

CAPITULO I

1.0 Introducción.	xv
-------------------	----

CAPITULO II

2.0 Objetivos.	18
2.1 Objetivo General.	18
2.0 Objetivos Específicos.	18

CAPITULO III

3.0 Marco Teórico.	21
3.1 Suelo.	21
3.2 Clases Texturales.	24
3.3 Funciones del suelo.	26
3.4 Características Químicas del suelo.	27
3.5 Reacción del suelo.	34
3.6 Fuentes de acidez en el suelo.	36
3.7 Relación entre porcentaje de saturación de bases y pH.	37
3.8 Causas de la acidificación progresiva del suelo.	37
3.8.1 Los fertilizantes nitrogenados y la acidificación del suelo.	38
3.9 Métodos de medición de la acidez del suelo.	40
3.10 Factores que afectan la medición del pH.	42

3.11	Influencia de la reacción sobre las características del suelo.	43
3.12	Técnicas utilizadas en el análisis químico del suelo.	46
CAPITULO IV		
4.0	Diseño metodológico.	48
4.1	Investigación bibliográfica.	48
4.2	Investigación de campo.	48
4.2.1.	Descripción del área de estudio de la zona de Cojutepeque.	48
4.2.2.	Descripción del área de estudio de la zona de Ciudad Arce.	50
4.3	Selección de la muestra.	54
4.3.1	Toma y preparación de la muestra.	55
4.4	Parte experimental.	57
4.4.1	Preparación de la muestra de suelo.	57
4.4.1.1	Secado	57
4.4.1.2	Triturado y tamizado.	57
4.4.2	Métodos de análisis.	57
4.4.2.1	Determinación de pH.	57
4.4.2.2	Textura al tacto.	58
4.4.2.3	Análisis Químico cuantitativo.	59

4.4.2.3.1	Determinación de materia orgánica.	60
4.4.2.3.2	Determinación de fósforo en suelos utilizando la solución extractora de Carolina del Norte.	62
4.4.2.3.3	Determinación de potasio por el método espectrofotométrico.	64
4.4.2.3.4	Determinación de Calcio y Magnesio.	65
4.4.2.3.5	Determinación de Cobre, Hierro y Manganeso.	67

CAPITULO V

5.0	Resultados.	71
5.1	Determinación de pH.	71
5.2	Determinación de textura de suelo.	73
5.3	Análisis Químico cuantitativo.	75
5.3.1	Determinación de materia orgánica.	75
5.3.2	Determinación de Fósforo.	78
5.3.3	Determinación de Potasio.	80
5.3.4	Determinación de Calcio y Magnesio.	82
5.3.5	Determinación de Cobre.	86
5.3.6	Determinación de Hierro,	88

5.3.7 Determinación de Manganeso.	90
5.3.8 Determinación de acidez total en suelos (H + Al).	92

CAPITULO VI

6.0 Presentación e interpretación de resultados.	95
6.1 Presentación de resultados en suelos de la zona de Cojutepeque.	96
6.2 Interpretación de resultados en suelos de la zona de Cojutepeque.	106
6.2.1 Relación de pH vrs. materia orgánica.	108
6.2.2 Relación de pH vrs. Fósforo.	108
6.2.3 Relación de pH vrs. Potasio.	108
6.2.4 Relación de pH vrs. Calcio.	109
6.2.5 Relación de pH vrs. Magnesio.	109
6.2.6 Relación de pH vrs. Cobre.	110
6.2.7 Relación de pH vrs. Hierro.	110
6.2.8 Relación de pH vrs. Manganeso.	111
6.2.9 Relación de pH vrs. acidez total.	111
6.2.10 Interpretación general de resultados.	111
6.3 Presentación de resultados en suelos de la zona de Ciudad Arce.	113

6.4 Interpretación de resultados en suelos de la zona de Ciudad Arce.	124
6.4.1 Relación de pH vrs. materia orgánica.	126
6.4.2 Relación de pH vrs. Fósforo.	126
6.4.3 Relación de pH vrs. Potasio.	127
6.4.4 Relación de pH vrs. Calcio.	127
6.4.5 Relación de pH vrs. Magnesio.	127
6.4.6 Relación de pH vrs. Cobre.	128
6.4.7 Relación de pH vrs. Hierro.	128
6.4.8 Relación de pH vrs. Manganeso.	129
6.4.9 Relación de pH vrs. acidez total.	129
6.4.10 Interpretación general de resultados.	130
CAPITULO VII	
7.0 Conclusiones.	132
CAPITULO VIII	
8.0 Recomendaciones.	135
Bibliografía.	
Glosario.	
Anexos.	

INDICE DE ANEXOS

1. Determinación de fósforo en suelo utilizando la solución extractora de Carolina del norte.
2. Determinación de potasio por el método espectrofotométrico.
3. Determinación de pH en suelo.
4. Calcio y Magnesio intercambiable.
5. Determinación de Hierro, Manganeso y Cobre.
6. Determinación de materia orgánica.
7. Acidez del suelo y Aluminio intercambiable.
8. Espectrofotometría Ultravioleta Violeta.
9. Espectroscopía Atómica.
10. Toma y preparación de la muestras.

CAPITULO I
INTRODUCCION

1.0 INTRODUCCION

Muchos de los suelos agrícolas de los municipios de Cojutepeque y Ciudad Arce, en los últimos años han presentado problemas de acidez atribuidos al tipo de fertilización o procesos naturales, sin embargo no han sido implantadas prácticas culturales apropiadas para contrarrestar este efecto y disminuir en cierto grado este tipo de degradación acelerada de estos suelos.

Actualmente se encuentran zonas con suelos ácidos, de baja productividad por el mal manejo de estos, a tal grado que es frecuente encontrar pH abajo de 5.5. La presencia de esta acidez en el suelo, aumenta la disponibilidad de iones metálicos como el Aluminio, Manganeso, Hierro con el riesgo de causar fitotoxicidad. ⁽¹¹⁾

El Aluminio y el Hierro reaccionan con el fósforo, formando complejos insolubles de fosfatos en el suelo, impidiendo de esta manera la absorción del fósforo y de otros nutrimentos necesarios para la planta. ⁽¹¹⁾

Lo expuesto hace necesario realizar investigaciones tendientes a determinar la acidez de suelos con potencial agrícola como los ubicados en los municipios antes mencionados.

Por lo que se han realizando muestreos programados aplicando métodos espectrofotométricos para la cuantificación de los diversos nutrimentos que son base de la fertilidad de dichos suelos.

Los resultados obtenidos permitirán conocer la disponibilidad de los elementos químicos en relación a los niveles de acidez que estos suelos poseen.

CAPITULO II

OBJETIVOS

2.0 OBJETIVOS.

2.1 OBJETIVO GENERAL.

Estudiar suelos ácidos (pH menor o igual a 5.5) con potencial agrícola en las zonas de Cojutepeque y Ciudad Arce.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

2.2.1 Seleccionar aquellos suelos con historial de características ácidas en las zonas de estudio.

2.2.2 Determinar mediante visita de campo o por revisión de expediente el tipo de fertilizante y cultivo de los suelos seleccionados.

2.2.3 Cuantificar mediante pruebas de laboratorio la presencia de elementos que integran las bases (Potasio, Calcio, Magnesio) y la acidez cambiante (Hidrógeno + Aluminio, Hierro, Manganeso) además de el Fósforo y la Materia Orgánica de los suelos.

2.2.4 Establecer una comparación de los datos obtenidos con el mayor o menor grado de acidez de los suelos.

2.2.5 Contar con un documento base que sirva para el planteamiento de nuevos trabajos de investigación que ayuden a solventar la problemática de acidez de los suelos.

CAPITULO III
MARCO TEORICO

3.0 MARCO TEORICO.

3.1 SUELO. ⁽¹⁴⁾

Es la capa superior de la superficie sólida del planeta, formada por meteorización de las rocas, en la que están o pueden estar enraizadas las plantas y que constituye un medio ecológico particular para cierto tipo de seres vivos. El suelo constituye el estrato superficial de la corteza terrestre y procede de la interacción de mundos diferentes, la litósfera, atmósfera y biosfera. El suelo resulta de la descomposición de la roca madre, por factores climáticos y la acción de los seres vivos. La descomposición de la roca madre puede hacerse por disgregación, factores físicos y mecánicos, por alteración, o descomposición química. En este proceso se forman unos elementos muy pequeños que conforman el suelo, los coloides y los iones, y por su origen, el suelo tendrá determinadas características.

El suelo está compuesto de partículas de distintos tamaños, sustancias de origen orgánico, aire, agua y organismos. Es esta condición de composición organomineral lo que le permite ser un sustrato de multitud de especies vegetales y animales.

Estos elementos están organizados: las partículas establecen relaciones topográficas precisas de acuerdo a su tamaño y ello da lugar a la formación de

espacios que se comunican entre sí llamados porosidad y que pueden rellenarse con agua o aire. Estos espacios a su vez albergan organismos generalmente pequeños o partes de organismos, como las raíces de las plantas. (2)

En el suelo se distinguen tres horizontes:

El horizonte A: aquí que se encuentran los elementos orgánicos, finos o gruesos, y solubles, que han de ser lixiviados.

El horizonte B: se encuentran los materiales procedentes del horizonte A. Aquí se acumulan los coloides provenientes de la lixiviación del horizonte A. Tiene una mayor fracción mineral.

El horizonte C: es la zona de contacto entre el suelo y la roca madre. La región en que la roca madre se disgrega. (2)

Desde un punto de vista ecológico el suelo es el subsistema de los ecosistemas terrestres en donde se realiza principalmente el proceso de descomposición, fundamental para la reobtención y reciclado de nutrientes.

El suelo sirve de refugio a gran cantidad de especies consumidoras que se ocultan en el anonimato en sus poros y oquedades. La diversidad biológica

del suelo es muy alta e incluye desde bacterias hasta pequeños vertebrados. Desde un punto de vista energético todos estos organismos se enlazan en complejas redes tróficas cuyo depósito inicial de mayor energía es la materia orgánica que proviene del subsistema aéreo y la de las raíces, cadáveres, etc. son los principales sustratos para la descomposición. Este depósito es utilizado por los descomponedores en general: bacterias y hongos que mineralizan y producen el cambio necesario de materia orgánica a inorgánica.

La materia orgánica se origina fundamentalmente, de la vegetación que coloniza la roca madre. La descomposición de estos rastrojos forma el humus bruto. A estos restos orgánicos vegetales se añaden los procedentes de la descomposición de los aportes de la fauna, aunque en el porcentaje total, estos tienen una relativa importancia.

La descomposición de la materia orgánica da al suelo diferentes minerales y gases como el amoníaco, nitratos, fosfatos, etc. en su mayoría con un pH ácido. Estos son elementos esenciales para el metabolismo de los seres vivos y conforman la reserva trófica del suelo para las plantas, además de garantizar su estabilidad. (2)



3.2. CLASES TEXTURALES.

El suelo está constituido por partículas de diferente tamaño. Conocer la granulometría es esencial para cualquier estudio del suelo. Para agrupar a los constituyentes del suelo según su tamaño se han establecido clasificaciones. Básicamente todas aceptan los términos de grava, arena, limo y arcilla, pero difieren en los valores de los límites establecidos para definir cada clase.

Definimos textura del suelo como la relación existente entre los porcentajes de las diferentes fracciones (arena, limo y arcilla). Las combinaciones posibles de estos porcentajes pueden agruparse en unas pocas clases de tamaño de partículas o clases texturales. Se utilizan numerosos tipos de diagramas (circulares, de barras), pero el más ampliamente empleado es el triángulo de texturas o Diagrama textural. ⁽¹⁶⁾ (ver figura 1)

La determinación del contenido de las arenas se hace mediante tamices de diferentes tamaños. La del limo y arcilla mediante el método de la pipeta de Robinson que se basa en la velocidad de sedimentación de estas partículas según la ley de Stokes. En general se puede decir que los suelos arenosos tienen buena aireación, son fáciles de labrar, son deficientes en nutrientes para las plantas, con baja retención de agua ya que se desecan con facilidad y son muy permeables. En los suelos limosos se producen efectos de impermeabilidad y mala aireación, carecen de propiedades coloidales y no

tienen apenas la posibilidad de formar agregados. Los suelos arcillosos son ricos en nutrientes, pero si hay un exceso de arcilla (>30%) son impermeables, las labores agrícolas son difíciles debido a su fuerte plasticidad en estado húmedo o a una excesiva compactación en estado seco. Los suelos con textura franca (equilibrada) es la ideal para el cultivo, aunque hay que tener en cuenta otros factores como el contenido en materia orgánica, régimen de humedad del suelo, clima, etc. (16)

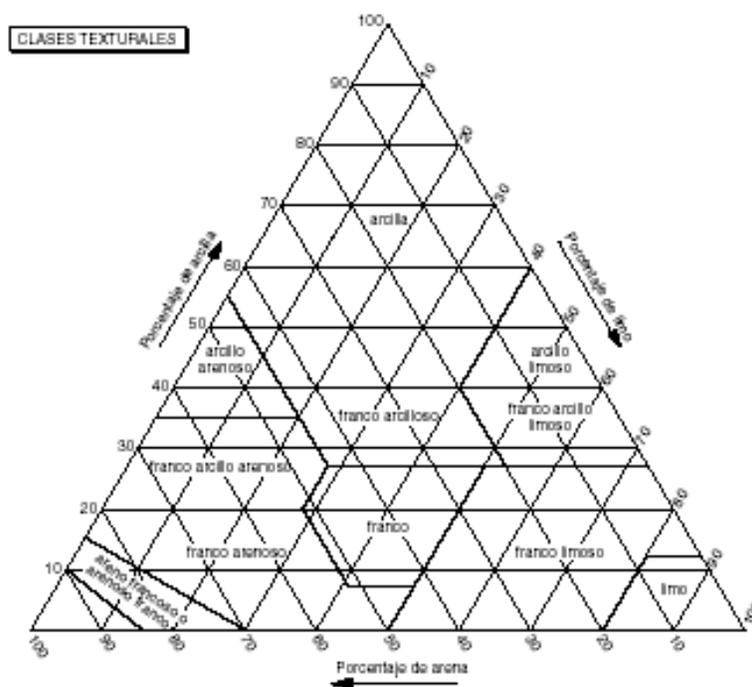


Figura 1. Triángulo de texturas o diagrama textural.

3.3. FUNCIONES DEL SUELO.

La acción humana creciente sobre el planeta afecta también al suelo, de modo que, en la actualidad el manejo de este subsistema se ha convertido en la clave de su calidad.

Hoy se reconoce que el suelo cumple 4 funciones vitales para el planeta:

- Sostener la actividad, diversidad y productividad biológica.
- Regular y distribuir el agua y flujo de solutos.
- Filtrar, drenar, inmovilizar y desintoxicar materiales orgánicos e inorgánicos, incluyendo desechos municipales de la industria.
- Almacenar y posibilitar el ciclo de nutrientes y otros elementos biogeoquímicos.

El suelo funciona siempre bajo las mismas leyes naturales; sigue manteniendo su plan de organización interna, reflejando ahora en dicho plan, la intervención humana. Los cambios del ambiente fisicoquímico producto de la actividad humana (cambio de componentes por vertido de basura, compactación por tráfico vehicular, aumento de la erosión por deforestación, etc.) afectan directamente el hábitat de los organismos edáficos. ⁽¹⁴⁾

3.4. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS SUELOS.

3.4.1. Importancia de los cationes presentes en el suelo.

Carbono, Hidrogeno y Oxígeno: El aire edáfico está formado por los mismos gases que contiene el aire atmosférico, aunque en proporciones diferentes. Por ejemplo, el proceso de la respiración aerobia de los organismos del suelo, disminuye la proporción de oxígeno e incrementa la cantidad de bióxido de carbono en relación a la proporción del aire atmosférico.

El oxígeno que las células radiculares necesitan para la respiración aerobia se difunde desde los espacios aéreos del suelo hacia los espacios intercelulares del córtex (su principal función es de almacenamiento y está formado principalmente por células parenquimatosas de disposición laxa con grandes espacios intercelulares, comprende el grueso de la raíz de una dicotiledónea herbácea) y de aquí a las células de la raíz.

Entre los gases importantes para los procesos que ocurren en el suelo están el oxígeno, necesario para la respiración aerobia de los organismos edáficos; el nitrógeno que es utilizado por las bacterias fijadoras de nitrógeno y el bióxido de carbono (CO_2) que es aprovechado por las bacterias y también forma ácido carbónico (H_2CO_3) al reaccionar con el agua favoreciendo el proceso de intemperismo. ⁽¹⁵⁾

En un suelo con pH ácido, los iones H^+ reemplazan a los de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ , los cuales son posteriormente lavados del suelo, disminuyendo la riqueza de nutrientes disponibles. El carbono, el hidrógeno y el oxígeno forman parte de la estructura de las moléculas de importancia biológica como los lípidos, los carbohidratos, las proteínas y los ácidos nucleicos. El nitrógeno forma parte de la estructura de las proteínas, los ácidos nucleicos y la clorofila. El fósforo es un componente de los ácidos nucleicos, los fosfolípidos (esenciales para la membrana celular) y de las moléculas de transferencia de energía como el ATP (adenosin trifosfato o trifosfato de adenosina). El calcio tiene una función estructural fundamental como componente de la lámina media (capa cementante entre las paredes celulares de las células vegetales adyacentes). También se considera que el calcio participa en otras actividades fisiológicas de las plantas como la modificación de la permeabilidad de las membranas. El magnesio es parte fundamental de la estructura de la molécula de la clorofila y el azufre forma parte de la estructura de algunos aminoácidos y vitaminas. ⁽¹⁵⁾

Nitrógeno: Aprovechado sólo como nitrito, nitrato y amonio. Constituyente básico de las proteínas, la clorofila y las enzimas. Este elemento disminuye a medida que aumenta la profundidad. La acumulación de nitrógeno en los primeros decímetros de suelo es el resultado de la actividad biológica. En

efecto; por un lado, a través del proceso de la humificación se producen componentes nitrogenados que son incorporados al suelo por microorganismos y, por otro lado las raíces finas al morir, se humifican en el suelo e incorporan el nitrógeno. En las regiones volcánicas como las de nuestro país, se tiene un rejuvenecimiento de los suelos por las cenizas de las erupciones; la formación de complejos organominerales protege a las sustancias nitrogenadas de la mineralización. ⁽¹¹⁾

Fósforo: Necesario en todos los procesos de intercambio de energía, formando parte del ATP. Su déficit detiene el crecimiento, atrofia las raíces y detiene la madurez. El contenido total de fósforo se encuentra relacionado con la textura de los suelos, tanto en áreas de clima templado como tropical. El contenido de fósforo total disminuye con la profundidad del suelo lo que es aplicable por la disminución de la materia orgánica y de los fosfatos orgánicos.

El fósforo se presenta en el suelo casi exclusivamente como ortofosfato, y todos los compuestos son derivados del ácido fosfórico (H_3PO_4). ⁽¹¹⁾

Potasio: Interviene en el equilibrio osmótico e iónico y en la activación de un gran número de enzimas. El potasio que contiene la solución del suelo donde se produce la absorción de la planta es una fracción muy pequeña del potasio

total. En el suelo, el Potasio se encuentra en diferentes fracciones, las cuales presentan un equilibrio químico. Las formas en que se encuentra el potasio en el suelo son:

- Potasio estructural: contenido en los minerales primarios (Ej. Feldespatos potásicos, micas).
- Potasio en los minerales secundarios (Ej. illitas, micas hidratadas).
- Potasio adsorbido, quelado o acomplejado: se encuentra en parte en la materia orgánica.
- Potasio intercambiable: en las superficies electrostáticas de las arcillas, materia orgánica.
- Potasio como parte de la solución del suelo. ⁽²⁾

Calcio: Indispensable para el crecimiento de las raíces. Combinado con quitina presta rigidez a las células. Una fracción considerable del calcio total se encuentra en forma intercambiable y otra, menos estudiada, está unida a la fracción orgánica. ⁽²⁾

Magnesio: Parte integral de la molécula de clorofila, indispensable para la fotosíntesis. La mayor fracción del elemento se encuentra asociada con algunos minerales primarios (como la biotita y augita). ⁽²⁾

Aluminio: La presencia de Aluminio compite con el Calcio y Magnesio en el suelo por los sitios de intercambio; y por consiguiente la toxicidad de Aluminio se puede disminuir mediante la aplicación de Calcio y Magnesio. El efecto más determinante de acidez en suelos agrícolas indudablemente que es la solubilidad de Aluminio, elemento altamente tóxico para las plantas en general y especialmente para cultivos como el maíz.

El factor más perjudicial para las plantas en suelos fuertemente ácidos es la toxicidad del Al, particularmente cuando el pH es inferior a 5.0.

La toxicidad del Aluminio (Al) también limita la degradación microbiana de la materia orgánica. El pH en el cual los niveles de Al alcanzan valores perjudiciales depende tanto de la planta como de una serie de factores del suelo, como la mineralogía de arcillas, el contenido de materia orgánica, la presencia de otros cationes y aniones y la salinidad total del suelo. En este caso, la proporción de Al^{+3} en el complejo de cambio y en la solución del suelo, llega a concentraciones que producen síntomas característicos, de acuerdo con las especies vegetales. (2)

Hierro: Interviene en la producción de clorofila y en muchas moléculas que transportan oxígeno y electrones.

El hierro es un componente importante, tanto de silicatos primarios como de minerales de arcilla. Sus compuestos principales son óxidos e hidróxidos,

frecuentemente hidratados y por lo común, finamente divididos en los suelos, donde tienen un papel decisivo en la coloración de los mismos. ⁽⁹⁾

Manganeso: Activa las enzimas y facilita la transferencia de electrones en la fotosíntesis. El contenido de las diferentes fracciones de Manganeso en los suelos, es muy variable. Se encuentra en forma de distintos óxidos y óxidos hidratados, como parte de silicatos y como carbonatos.

Con frecuencia los óxidos e hidróxidos se presentan juntos, con formas análogas de hierro. Entre los factores que se han observado como influyentes sobre los niveles de Manganeso, se pueden mencionar: la textura fina y el contenido de materia orgánica. ⁽⁹⁾

Cobre: Activa ciertas enzimas e influye en el metabolismo.

Una fracción considerable del cobre en los suelos, se encuentra unida a la fracción orgánica.

Estudios realizados indican que forman un complejo bien estable entre cobre y ácidos húmicos. El cobre total en los suelos se obtiene a partir de:

- Cobre orgánico.
- Una fracción extraíble con oxalato de amonio ácido (pH 3.0), que posee una parte orgánica.

- La fracción del cobre que está unida a los óxidos de hierro y Manganese en el suelo.
- El Cobre en los minerales primarios y secundarios, principalmente silicatos, excluyendo los óxidos de hierro y manganeso. ⁽⁹⁾

Materia Orgánica: El contenido de materia orgánica es objeto de una determinación rutinaria en todos los laboratorios de suelos. La importancia de este factor está dada por su influencia directa e indirecta sobre las propiedades del suelo como color, estructura, plasticidad, capacidad de retención de humedad, capacidad de intercambio catiónico y aniónico; disponibilidad de nitrógeno, génesis del suelo, susceptibilidad a la erosión, etc.

Se entiende por materia orgánica del suelo todo el material de origen orgánico que se encuentra en diferentes estados de descomposición en el suelo. Consecuentemente, quedan incluidos bajo éste termino, residuos vegetales y animales que aún presentan suficiente diferenciación para permitir la identificación de su origen, así como aquellos productos orgánicos muy degradados, que han llegado a un estado de virtual equilibrio con su medio ambiente.

Estos últimos forman un material amorfo, relativamente estable, cuyo color puede variar desde café hasta negro y que es el principal responsable de

varias propiedades importantes del suelo; se le conoce como humus. El humus está constituido por una gran variedad de compuestos orgánicos los cuales han sido separados para su estudio en varios grupos, de acuerdo a propiedades comunes como son su resistencia a la hidrólisis (Ácida o alcalina) y a su solubilidad en diferentes solventes.

La cantidad de materia orgánica en los suelos se puede estimar mediante el conocimiento del carbono orgánico del suelo. El factor convencional para pasar de carbono a materia orgánica es 1,724 y se basa en la hipótesis que la materia orgánica del suelo tiene un 58% de carbono. Este factor es conocido como el factor de Van Bemmelen y es ampliamente usado, aún cuando diversos autores han encontrado que puede fluctuar de 1.6 hasta 3.3. ⁽³⁾

3.5. REACCIÓN DEL SUELO

Es el concepto que se refiere a las relaciones de acidez y basicidad del suelo; se trata de una propiedad que influye tanto en sus características químicas como físicas, además de tener un considerable impacto sobre la vida microbiana de este medio.

La acidez del suelo depende del contenido de Hidrógeno ionizable, del Aluminio en diferentes formas disociables y en grado menor de las precipitaciones de los iones de Manganeso y Hierro, todos en equilibrio con la

solución de suelo donde ocurren variadas reacciones de hidrólisis. La acidez y la extrema acidez disminuyen la presencia de las bases cambiabiles como el Calcio, Magnesio y Potasio, además influyen en la poca disponibilidad del Molibdeno y disminuye los procesos de mineralización de la materia orgánica por la baja actividad de las bacterias existentes. Producto de este proceso de acidificación, se incrementan los microorganismos patógenos en las raicillas, siendo también causa de pérdida de la efectividad de los fertilizantes aplicados, disminuyendo los rendimientos de los cultivos. (ver figura 2)

Concepto sobre ácido-base: el más antiguo de estos conceptos es el de Arrhenius, según este científico sueco, un ácido es un compuesto que contiene un Hidrógeno ionizable (H^+). Similarmente se consideran como bases a los compuestos capaces de producir Hidroxilos (OH^-) en soluciones. De estas definiciones la más aceptada hoy en día es la que se refiere al concepto de ácidos, ya que se sabe que existen muchos compuestos como el Amoniaco (NH_3) y muchas sustancias orgánicas que sin formar Hidroxilos, poseen propiedades de bases. ⁽¹⁰⁾

Un concepto más moderno ha sido propuesto por Bronsted y Lowry hace unos 60 años. Ellos definen el ácido como un compuesto capaz de ceder un protón (H^+); en forma complementaria, una sustancia capaz de aceptar un protón, es una base. ⁽¹⁰⁾

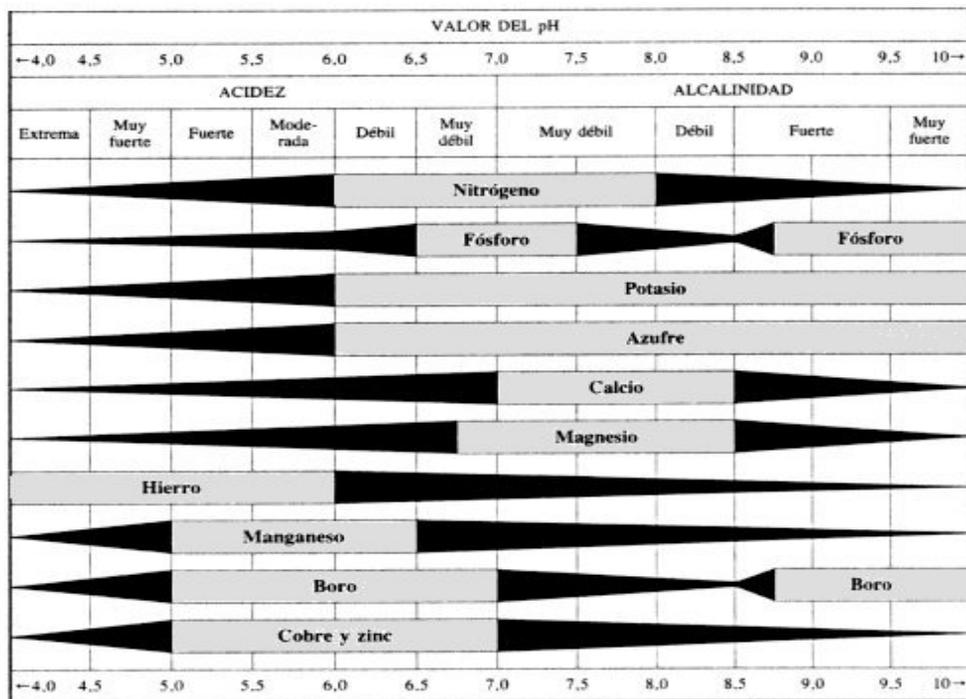


Figura 2. Influencia de la reacción de la reacción sobre las características del suelo. (18)

3.6. FUENTES DE ACIDEZ EN SUELOS.

La acidez del suelo esta determinada por la composición del mismo y por las reacciones de intercambio de iones y de hidrólisis que presentan los componentes inorgánicos y orgánicos existentes.

Los componentes inorgánicos que deben ser considerados son: los minerales de arcilla cristalinos, los óxidos e hidróxidos, el alofan, característica de estos suelos y otros compuestos amorfos, además de los ácidos solubles en suelos.

La materia orgánica del suelo, contiene cantidades significativas de grupos carboxílicos y fenólicos que participan en reacciones de intercambio catiónico. (9)

3.7. RELACION ENTRE PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES Y pH.

La suma de las bases cambiables (Ca, Mg, K y Na) expresada como porcentaje de la capacidad total de intercambio catiónico, se conoce como el porcentaje de saturación; el porcentaje de acidez cambiante (Al + H) correspondería al complemento del anterior hasta el 100%. (Al, Fe, Mn +H₃O).

Los suelos con valores altos de materia orgánica tienen un poder tampón fuerte, la acción tampón de estos componentes de suelos es rápida y reversible, si, la acción tampón es lenta, y básicamente irreversible es debido a los silicatos, óxidos e hidróxidos en suelos pobres en materia orgánica. (2)

3.8. CAUSAS DE LA ACIDIFICACIÓN PROGRESIVA DE LOS SUELOS.

La acidificación progresiva que se presenta de manera especial en los suelos de áreas tropicales húmedas, particularmente cuando se practica una agricultura intensiva, se debe al reemplazo paulatino de las bases cambiables (Ca, Mg, K y Na) por iones H⁺ y Al⁺³. Este reemplazo resulta de la percolación

del agua, de la extracción de los cationes cambiabiles y del uso de abonos de carácter ácido.

Cuando los abonos se aplican en bandas, la acidificación puede afectar aquella parte conocida como banda de fertilizantes, en cuyo caso su efecto es menos perjudicial, aunque resulte un pH muy bajo en el suelo de esta zona.

Como resultado de la fertilización se produce en el suelo una acidificación continua por la formación de los ácidos nítrico y sulfúrico, los que se pueden formar cuando se usa el sulfato de amonio; este último se nitrifica según la reacción:



La expresión de la actividad iónica del H^+ , en forma de pH, es de uso universal.

Este valor expresa la acidez activa del suelo, es decir la cantidad de acidez (H^+ o Al^{3+}) que se encuentra en la suspensión en equilibrio con el suelo. Esta es solo una pequeña parte de la acidez total o acidez potencial del suelo, la que concluye a todos los Al y H cambiabiles. (2)

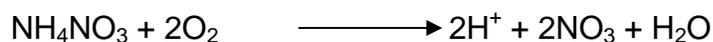
3.8.1. LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS Y LA ACIDIFICACIÓN DEL SUELO.

Al momento de decidir la fuente de fertilizante que conviene utilizar es necesario considerar, entre otras cosas, las características del suelo, y las reacciones y transformaciones de los productos. Algunas fuentes de fertilizantes

nitrogenados como las amoniacales generan un residuo que provoca cierta acidez al suelo. Es conocido el mayor efecto acidificante del sulfato de amonio respecto del nitrato de amonio y la urea. Sin embargo, no se puede generalizar sobre este efecto en todos los suelos, normalmente la capacidad amortiguadora de los suelos arcillosos hace que la acidez inducida por estas tres fuentes sea menor, particularmente en el caso del Sulfato de Amonio. ⁽¹⁶⁾

¿POR QUÉ ACIDIFICAN LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS?

Durante el proceso de nitrificación del NH_4 del fertilizante a NO_3 , se liberan iones H^+ que pueden producir acidez en el suelo. El grado de acidez que induce depende de la fuente de Nitrógeno que se utiliza. Entre los fertilizantes nitrogenados de uso más frecuente se encuentran la urea, el nitrato de amonio (NA) y el sulfato de amonio (SA). Durante su transformación en el suelo, la reacción da como resultado la producción de igual cantidad de Nitrógeno con las tres fuentes, pero los protones liberados son mayores para el SA. Así, tenemos que por cada mol de SA se liberan 4 unidades (moles) de H^+ , mientras que cada unidad (mol) de urea y NA produce solo 2 moles de H^+ . Por lo tanto, si a un suelo le agregamos una cantidad determinada de Nitrógeno por hectárea, con cada una de estas tres fuentes, la acidez inducida por la nitrificación del producto debería seguir el siguiente orden $\text{SA} > \text{urea} = \text{NA}$. ⁽¹⁶⁾



3.9. MÉTODOS DE MEDICION DE LA ACIDEZ DEL SUELO.

La reacción del suelo, o su acidez activa, se puede medir por métodos colorimétricos y potenciométricos. Los métodos colorimétricos son cada día menos usados, por ser de menor precisión y por involucrar más trabajo. Sin embargo cuando no se dispone de un potenciómetro, estos métodos permiten una información aproximada sobre el pH de los suelos, a un costo muy reducido; ello se logra comparando los colores que se desarrollan con indicadores adecuados, agregados a los suelos y a las soluciones tampones de pH conocido.

Los métodos potenciométricos se basan en la comparación del potencial eléctrico producido por los iones H^+ (Los que son detectados por un electrodo de Hidrógeno), con el potencial constante que produce un electrodo patrón, en general un electrodo calomelado.

Para la medición del pH del suelo se usan, principalmente, tres enfoques:

- a. **Medición del pH en agua.** Para esta determinación se utilizan proporciones suelo seco: agua, 1:1 ó 1:2.5.

- b. **Medición del pH en una suspensión de KCl 1N.** Para esta determinación se usa una proporción de suelo: KCl - 1:2.5. Esta medición es independiente del efecto de los abonos, y comúnmente de valores más ácidos de pH.

- c. **Medición de pH en una suspensión de CaCl_2 0.01M.** Se considera que este enfoque representa mejor las condiciones de la solución del suelo. Esta medición tampoco es afectada por la acción de sales en los suelos, es decir, por la fertilización.

Una de las ventajas de los métodos de medición en soluciones salinas es, que son poco o no afectados por el efecto de suspensión; una medición que se realiza cuando los electrodos se encuentran en el líquido supernatante da por resultado un pH que es unos cuantos décimos de unidad superior que cuando se encuentran en la suspensión del suelo. ⁽⁹⁾

3.10. FACTORES QUE AFECTAN LA MEDICION DEL pH. ⁽⁹⁾

Se consideran aquí los siguientes factores:

- a. **Efectos de dilución.** Al aumentar la relación suelo: agua o solución, se eleva el pH. Esto se explica por el incremento de la concentración de iones divalentes en la capa adyacente al complejo del cambio.

- b. **Efecto de las sales solubles.** Es conocido el hecho de que mediciones del pH en KCl 1N dan por resultados valores que a veces son inferiores hasta por una unidad de pH; y esto debido al intercambio de H y Al que realiza el K de la solución.

- c. **Efecto del CO₂.** Se ha observado que al aumentar la presión de CO₂, disminuye el pH de la suspensión del suelo; esta se explica por la disolución del CO₂ y por el hecho de formar iones H⁺ y HCO⁻³ en la solución del suelo.

- d. **Variaciones estacionales o anuales.** Se han observado variaciones estacionales del pH. Las posibles explicaciones de este fenómeno se encuentran en los cambios en el régimen de lluvias, así como en las variaciones en la salinidad de la solución del suelo, y en las

modificaciones en la actividad biológica. El efecto de estos valores se traduce en un pH reducido en épocas secas, y en uno mayor en periodos lluviosos.

- e. Variaciones locales.** Las variaciones de pH en áreas limitadas del suelo se deben, principalmente, a los efectos de reacciones químicas específicas (como las que se dan en las bandas de abono), y a la actividad biológica (como la que existe en las áreas que rodean las raíces). ⁽⁹⁾

3.11. INFLUENCIAS DE LA REACCION SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.

Influencia del H⁺. El influjo del H⁺ en los suelos es muy difícil de estudiar debido a que su efecto es fácil de confundir con otros efectos que, presentándose con pH bajos, son generados por otros elementos. Una parte de estos problemas se debe al efecto de altas concentraciones de H⁺ sobre la permeabilidad de las membranas de las raíces. Se ha constatado que niveles muy bajos de pH reducen la absorción de Ca, Mg, Mn, Zn y Cu. Estas reducciones en conjunto con una disminución en el crecimiento de las raíces y

de los pelos radiculares, generalmente conducen a la disminución de las cosechas.

El pH es también un factor importante en la determinación de las especies, el número y las actividades de los microorganismos en los suelos. En rangos de acidez alta, los hongos más tolerantes a estas condiciones y con pocos competidores son los principales responsables de la descomposición de la materia orgánica. ⁽⁹⁾

Influencia del Aluminio (Al). El factor más perjudicial para las plantas en suelos fuertemente ácidos es la toxicidad del Aluminio, particularmente cuando el pH es inferior a 5.0.

La toxicidad del Al también limita la degradación microbiana de la materia orgánica. El pH en el cual los niveles de Aluminio alcanzan valores perjudiciales depende tanto de la planta como de una serie de factores del suelo, como la mineralogía de arcillas, el contenido de materia orgánica, la presencia de otros cationes y aniones y la salinidad total del suelo. En este caso, la proporción de Al^{+3} en el complejo de cambio y en la solución del suelo, llega a concentraciones que producen síntomas característicos, de acuerdo con las especies vegetales. ⁽⁹⁾

Efectos del Manganeso (Mn). Los daños causados por un exceso de Manganeso siguen en importancia a los efectos perjudiciales de la toxicidad del Aluminio en las plantas. La solubilidad de este elemento (Mn) y su eventual toxicidad dependen de varias propiedades del suelo, tales como: contenido de Mn total, pH, nivel de materia orgánica, actividad microbiana, y grado de aireación. En general, la toxicidad se presenta en suelos con altos contenidos de Mn, también en aquellos con niveles de pH inferiores que 5.5, y en el caso de las plantas sensitivas a este problema. Si las condiciones de un suelo son muy reductoras, el efecto negativo puede presentarse aun en niveles de pH superiores. Se sabe que en algunas plantas los excesos de Manganeso (Mn) producen síntomas similares a los que genera la deficiencia de hierro; cuando éste es el caso, la situación puede ser corregida añadiendo este último elemento. Se conoce también que al aumentar los niveles de Fósforo, Silicio y Calcio, generalmente se reducen los problemas de toxicidad de Manganeso. ⁽⁹⁾

Otros cationes. La acidez del suelo indica la existencia de niveles bajos de los cationes principales: Calcio, Magnesio y Potasio. Los altos niveles de Aluminio influyen negativamente sobre la adsorción de otros cationes, con altos niveles de Calcio se pueden reducir los efectos dañinos del Aluminio. ⁽⁹⁾

Adsorción de aniones La precipitación de fosfatos insolubles de hierro y aluminio en los suelos, es más alta con condiciones ácidas. La adsorción de sulfatos, boratos y fosfatos, se eleva exponencialmente al disminuir el pH. ⁽⁹⁾

3.12. TECNICAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS QUIMICO DEL SUELO.

El análisis químico de los suelos se basa en la aplicación de métodos espectrofotométricos como el ultravioleta visible (UV-V) utilizado para la determinación de Fósforo (P), la espectroscopía de absorción atómica la cual es específica para la determinación de los elementos Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Cobre (Cu), Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn), métodos titrimétricos de oxido-reducción y acido-base, para la determinación de materia orgánica y acidez total (H + Al), además de el pHmetro utilizado para la determinación de pH (ver anexo 9).

CAPITULO IV
DISEÑO METODOLOGICO

4.0 DISEÑO METODOLOGICO

4.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Se realizó en las siguientes bibliotecas:

Biblioteca Central de la Universidad de El Salvador, Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). También se obtuvo información por medio de Internet.

4.2. INVESTIGACIÓN DE CAMPO.

4.2.1. Descripción del área de estudio de la zona de Cojutepeque.

Se localiza en el Departamento de Cuscatlán, y geográficamente se ubican en el cuadrante 2457 III Cojutepeque, del mapa pedológico. Las características de la serie de suelos, así como la ubicación de los cantones que se sometieron a estudio, se presentan en la figura 3. Se indican con números romanos las zonas de muestro que corresponde a Cojutepeque y los cantones que se incluyen en este estudio.

- I. Cantón El Carmen.
- II. Cantón Veracruz.
- III. Cantón El Amatillo.
- IV. Cantón Soledad.

Además de los cantones, también se señala con una línea punteada , la región que corresponde a la serie de suelos Atd.

Atd. (Apopa - Tonacatepeque accidentados en terrenos elevados)

Fisiografía: Peniplanicies muy diseccionadas por las quebradas, que en una gran proporción son de fondo plano. El relieve es moderado, de 10 a 20 mts. Las pendientes predominantes varían de 10 a 40%. Los estratos inferiores están compuestos por capas profundas pomicíticas y toba no intemperizada.

El drenaje interno y externo es rápido y puede secarse con bastante facilidad en la época no lluviosa.

Suelos: Pertenecen al gran grupo de los Regosoles y Litosoles. Los primeros son suelos que varían con textura que varia de franco arenosa a franca, la capa superficial es de un espesor de 20 a 40 cms. a más de un metro sobre toba o capas pomicíticas endurecidas. Son suelos friables, de estructura masiva o terronosa, no plásticos, no pegajosos con moderada a alta capacidad de producción. Los Litosoles son suelos semejantes a los primeros, con espesor de unos 20 a 40 cms. sobre toba que aflora en las áreas de fuerte pendiente o más erosionadas. Son áreas de baja capacidad de producción. ⁽⁴⁾

EL SALVADOR 1:50,000

CUADRANTE 2457 III COJUTEPEQUE.



Figura 3. Mapa de ubicación de los cantones en los cuales fueron tomadas las muestras, en la zona de Cojutepeque.

4.2.2. Descripción del área de estudio de la zona de Ciudad Arce.

Se encuentra ubicado en el departamento de La Libertad; geográficamente podemos localizar los cantones: Pitichorro, La Joya, El Tinteral, Las Cruces y Nueva Encarnación, en el cuadrante 2357 IV Opico, y en el cuadrante 2357 III Nueva San Salvador se ubica el cantón Zapotitán.

La identificación de los lugares donde se ubican los cantones de los cuales se extrajeron las muestras, se realiza mediante números romanos, de la siguiente manera:

- I. Cantón Pitichorro
- II. Cantón La Joya.
- III. Cantón El Tínteral.
- IV. Cantón Nueva Encarnación.
- V. Cantón Las Cruces.
- VI. Cantón Zapotitán.

En los mapas de la zona de Ciudad Arce (figura 4 y 5), también se diferencian las distintas series de suelo (Azc, Yac, Aza). Los suelos de tipo Azc están delimitados por una línea gruesa de color negro , los suelos de tipo Yac, se delimitan por una línea de puntos y con una línea de puntos y rayas combinados la región que pertenece a la serie de suelo Aza.

Yac. (Yayantique - Siguatepeque, muy accidentado en montañas)

Los suelos de la serie Yac, se encuentran en los cantones: Pitichorro, Nueva Encarnación, La Joya y las Cruces.

Fisiografía: Se encuentra en terrenos montañosos de alto relieve, fuertemente diseccionado por grandes y abruptas quebradas. Las capas inferiores están formadas de lavas duras, oscuras.

Suelos: Pertenecen a los grandes grupos Latosol Arcillos Rojo y Litosol. Son suelos arcillosos de color rojizo, de estructura en bloques; son muy pedregosos y varían de superficiales a moderadamente profundos. Se encuentran bastantes afloramientos rocosos. (4)

Azc. (Azacualpa muy accidentado en montañas)

Este tipo de suelo se encuentra únicamente en el cantón El Tinteral.

Fisiografía: Es una zona que comprende áreas de topografía inclinada y bastante diseccionada por quebradas, el relieve es alto. Las pendientes varían de 20 a 60%. Las capas inferiores están compuestas de pómez y ceniza volcánica el drenaje tanto externo como interno varían de moderado a rápidos. En la época no lluviosa son áreas poco secas, en parte debido a lo rápido del drenaje interno.

Suelos: pertenecen al gran grupo Latosol Arcilloso Rojo. Los horizontes superficiales de estos suelos son de texturas franco a franco arcillosas, color café muy oscuro y estructura granular. Los subsuelos son arcillosos con estructura en bloques medianos con películas de arcilla y de color café de oscuro a claro. Las capas inferiores están formadas por capas de bastante espesor de pómez grueso y ceniza volcánica blanca.

Aza. (Azacualpa Alomado en penilplanicies)

En esta serie de suelos solamente se encuentra los suelos del cantón Zapotitán.

Fisiografía: Penilplanicies antiguas moderadamente diseccionadas de topografía alomada. Las pendientes fluctúan de 6 a 25 %. Las capas inferiores

están compuestas de pómez y polvos volcánicos, algunas veces cementados y algunas tobas. El drenaje interno y externo son moderados, aunque el suelo es de lenta permeabilidad. Mantienen cierta humedad en la época seca.

Suelos: Pertenecen al gran grupo Latosol Arcilloso Rojizo. Las capas superficiales son de textura franca a franco arcillosas de color café muy oscuro y de estructuras en bloques fuertes y con películas de arcilla, de color café oscuro a café rojizo, bastante desarrollados y profundos. Las capas inferiores están constituidas por pómez medianamente gruesa de textura arenosa. Existen pequeñas áreas de suelos francos, friables, café oscuro, pero sin presentar el subsuelo arcilloso.

EL SALVADOR 1:50,000

CUADRANTE 2357 IV OPICO

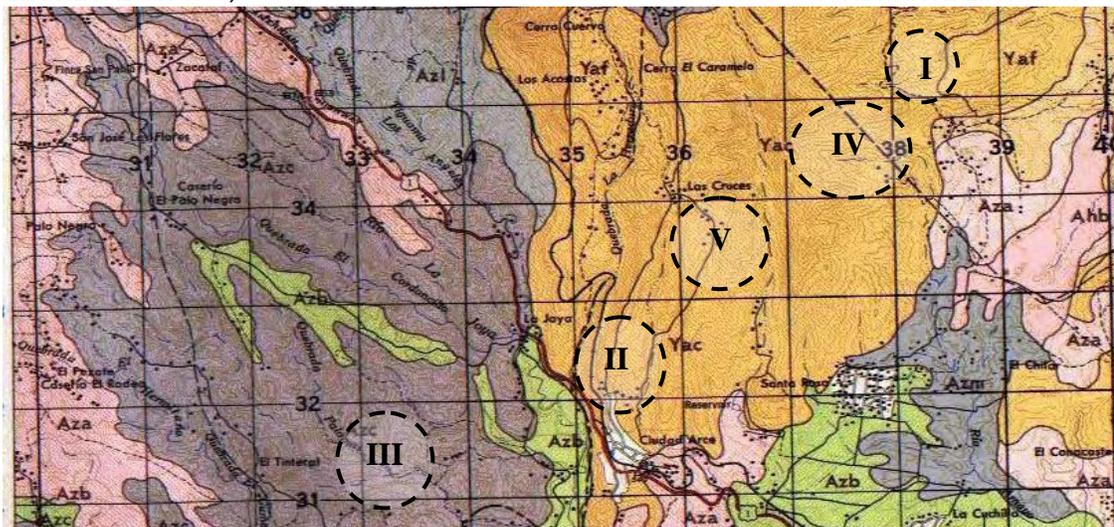


Figura 4. Mapa de ubicación de los cantones: Pitichorro, La Joya, El Tinteral, Nueva Encarnación y Las Cruces, en la zona de Ciudad Arce.

EL SALVADOR 1:50,000

CUADRANTE 2357 III NUEVA SAN SALVADOR

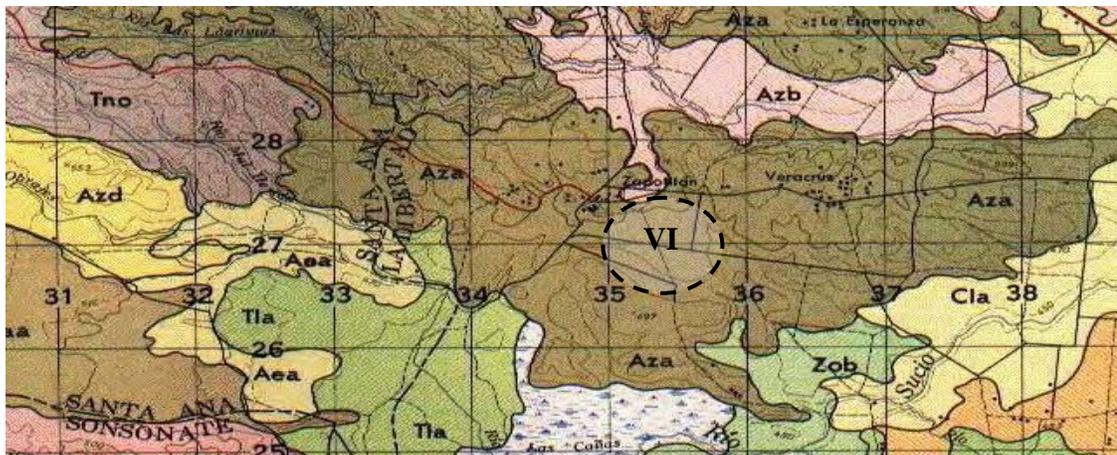


Figura 5. Mapa de ubicación de Zapotitán de la zona de Ciudad Arce.

4.3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA.

Universo: Suelos de las zonas de Cojutepeque y Ciudad Arce.

Tipo de Muestreo: Se hizo un muestreo por conglomerado. Y luego se seleccionó la muestra si cumplía con la característica de tener un pH menor o igual a 5.5.

Muestra: Se tomaron 250 muestras, de las cuales se encontró que únicamente 80 de ellas cumplían las características ($\text{pH} \leq 5.50$) necesarias para llevar a cabo los análisis de interés en este trabajo. Entre ellas: 60 corresponden a la zona de Ciudad Arce y las otras 20 a la zona de Cojutepeque.

Muestreo de Suelos: Los análisis de los suelos para determinar su contenido de nutrientes, requieren de la toma de un buen número de muestras de suelo de las áreas. Las muestras deben remitirse a un laboratorio para que sean examinadas químicamente.

La calidad de los resultados del laboratorio depende de la exactitud del método y del procedimiento del muestreo.

Por lo tanto es de mucha importancia que cada muestra se tome de tal forma que represente realmente las condiciones de nutrientes del campo.

4.3.1. Toma y preparación de la muestra ⁽³⁾

La toma y preparación de la muestra se realizó aplicando el procedimiento especificado en el manual de toma de muestra que se utiliza en el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) (Ver anexo 10).

Cuadro 1. Lugares seleccionados para la toma de muestra.

Municipio	Cantones	Número de muestras analizadas	Código de muestras Tomadas
Cojutepeque	El Carmen	6	CJ-3, CJ-6, CJ-7, CJ-10, CJ-13, CJ-14.
	Veracruz	4	CJ-1, CJ-5, CJ-12, CJ-16
	Amatillo	3	CJ-4, CJ-9, CJ-15.
	Soledad	7	CJ-2, CJ-8, CJ-11, CJ-17, CJ-18, CJ-19, CJ-20.
Ciudad Arce	Pitichorro	9	CA4, CA7, CA8, CA12, CA15, CA16, CA23, CA44, CA52.
	La Joya	16	CA2, CA10, CA14, CA18, CA19, CA22, CA28, CA30, CA37, CA39, CA43, CA48, CA55, CA57, CA58, CA60
	El Tinteral	9	CA6, CA11, CA21, CA25, CA29, CA36, CA41, CA46, CA56
	Zapotitán	8	CA1, CA9, CA17, CA24, CA32, CA35, CA51, CA53
	Nueva Encarnación	9	CA13, CA20, CA31, CA34, CA45, CA49, CA50, CA54, CA59
	Las Cruces	9	CA3, CA5, CA26, CA27 , CA33, CA38, CA40, CA42, CA47

4.4. PARTE EXPERIMENTAL.

4.4.1. Preparación de la muestra de suelo.

4.4.1.1. Secado.

El secado se realizó colocando la muestra en una bolsa de papel empaque, luego fué llevada a una estufa a temperatura de 60°C por un periodo de 7 horas.

4.4.1.2. Triturado y Tamizado.

La muestra se hizo pasar por un molino de rodillos, para disminuir el tamaño de las partículas del suelo.

El tamiz utilizado fué de 2mm con orificios circulares, el cual sirve para homogenizar el tamaño de las partículas.

4.4.2. Métodos de Análisis.

4.4.2.1. Determinación de pH.

Determinación de pH del suelo en agua relación 1:2.5

Cuando se habla del pH del suelo se hace referencia a una de las cualidades más indicativas de sus propiedades. El que un suelo sea ácido, neutro o alcalino determina en gran parte la solubilidad de varios compuestos,

la fuerza de unión de los iones en los sitios de intercambio y la actividad de los microorganismos.

El pH se define como el logaritmo negativo de la actividad de los iones H^+ en una solución.

Procedimiento:

1. Tomar 10 g de suelo (usando una cuchara medidora), previamente secado y tamizado.
2. Agregar 25 mL de agua destilada, agitar de 10 a 20 minutos manualmente ó 5 minutos en medidor eléctrico.

Luego tomar la muestra para lectura de pH en el potenciómetro previamente calibrado con soluciones buffer pH 4 y pH 7 (El potenciómetro consta de un electrodo de calomel y el otro de vidrio).

4.4.2.2. Textura al tacto. ⁽³⁾

La estimación de la clase textural por medio del tacto, es una forma de identificar las propiedades de los suelos en el campo. Este método requiere habilidad y experiencia, así como frecuentes comparaciones con los métodos cuantitativos. El proceso consiste en tomar una porción de suelo con la mano y agregar agua lentamente, mientras se amasa con la otra mano hasta que

comiencen a expresarse las propiedades de la consistencia en húmedo y mojado.

Para una mayor comprensión acerca de la textura del suelo es necesario conocer la siguiente simbología utilizada para la clasificación del suelo según su textura.

Simbología:

- F: Franco
- A: Arena
- C: Arcilla
- FA: Franco - Arenoso.
- FC: Franco - Arcilloso
- AF: Arena - Franca
- FCA: Franco - Arcillo - Arenoso

4.4.2.3. Análisis Químico cuantitativo.

El análisis químico cuantitativo tiene por objetivo la determinación exacta de ciertas sustancias o elementos, los cuales son el objeto del estudio.

Materia Orgánica, Fósforo, Potasio soluble, Calcio, Magnesio, Cobre, Hierro, Manganeso, Hidrógeno + Aluminio.

4.4.2.3.1. DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA.

La determinación del carbono orgánico total puede llevarse a cabo por medio de un procedimiento de combustión seca o por medio de combustión húmeda; en ambos casos, el carbono orgánico se excluye determinando carbonatos y bicarbonatos o destruyéndolos mediante un tratamiento previo con ácidos.

Entre los métodos de combustión húmeda tenemos el de Walkley Black el cual consiste en oxidar parte de la materia orgánica, la cual es la fracción químicamente activa y a la vez, la más importante para los procesos biológicos. La oxidación se realiza con el calor de reacción que se genera al mezclar el ácido sulfúrico concentrado y la solución diluida de dicromato de potasio. ⁽³⁾

Procedimiento:

1. Pesar con exactitud 250.0 mg de suelo seco, pulverizado y tamizado en un tamiz de 0.5 mm. Cuando se trata de un suelo muy rico en materia orgánica pesar de 100 a 200 mg de suelo.
2. Poner cada muestra en un erlenmeyer y agregar 10.0 mL de solución de dicromato de potasio con una bureta.
3. Agregar rápidamente 20.0 mL de ácido sulfúrico concentrado, tratando de poner el ácido en el centro del erlenmeyer que contiene la solución y

agitar suavemente a mano durante un minuto. Dejarlo reposar sobre la placa de asbesto durante media hora.

4. Pasado este tiempo agregar 200 mL de agua destilada, 10 mL de ácido fosfórico y 3 gotas de indicador Difenilamina. (1.0 g de Difenilamina disuelto en 100 mL de ácido sulfúrico al 98%).
5. Titular con solución de sulfato ferroso, agregándole con una bureta, gota a gota hasta un viraje de café oscuro a verde esmeralda.
6. Cada 5 muestras de suelo se coloca un testigo, que contiene todos los reactivos (sin suelo) y se titula en igual forma que las muestras. Esto servirá para encontrar el factor.

Cálculos para Materia Orgánica:

- a) El factor (F) se obtiene dividiendo 10 (mL. de dicromato de potasio 1N) entre el número de mL de sulfato ferroso gastados en la titulación (reducción) de los blancos.

$$\text{Factor (F)} = \frac{10}{\text{mL gastados de FeSO}_4 \text{ (blanco)}}$$

- b) El producto de multiplicar el factor (F) por el número de mL de sulfato ferroso gastados en cada muestra y restado de 10 mL de dicromato de potasio

nos da el número de mL de dicromato de potasio reducidos por la materia orgánica de cada muestra de suelo.

$$10 - (F \times \text{mL de FeSO}_4) = \text{mL reducidos de K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7.$$

c) El número de mL. reducidos se multiplica por 1.72* para obtener el porcentaje de materia orgánica.

*1.72: Factor de conversión de carbono orgánico a materia orgánica. (3)

$$\% \text{ M.O.} = \text{mL reducidos de K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 1.724$$

4.4.2.3.2. DETERMINACIÓN DE FÓSFORO EN SUELOS UTILIZANDO LA SOLUCIÓN EXTRACTORA DE CAROLINA DEL NORTE.

El método de análisis para determinar fósforo consiste en una extracción del elemento con una solución doble ácido, solución de Mehlich o solución Carolina del Norte. Una vez extraído, el fósforo se determina con el método colorimétrico del Vanado-Molibdato de Amonio, (método de Mission).

La coloración amarilla que se desarrolla en ésta metodología se debe a la formación del sistema Vanadomolibdofosfórico, al sustituirse los átomos de oxígeno del radical PO_4^{3-} por los radicales oxivanadio y oximolibdeno, para dar un heteropolicompuesto adaptable a muchos medios acidificados. (3)

El complejo formado es cuantificado en un espectrofotómetro (U.V - V.)

Procedimiento:**Extracción:**

1. Con una cucharita pequeña de 5 cm³. (que corresponde aproximadamente a 5.0 g) se toma una muestra de suelo previamente secado y tamizado. Este se deposita en un vaso de 4 onzas.
2. Añadir aproximadamente 200 mg de carbón Darco G-60.
3. Agregar 25.0 mL de la solución extractora (Carolina del Norte).
4. A continuación se agita durante 5 minutos en un agitador de movimiento recíproco que funcione a 180 vaivenes por minuto.
5. Filtrar. (El filtrado obtenido puede usarse para la determinación de Potasio.)

Cuantificación:

6. Del filtrado anterior se toman 5.0 mL.
7. Se añaden 2.0 mL. del reactivo Molibdato-Vanadato y se deja en reposo por 30 minutos.
8. Preparar soluciones estándares de 0, 5, 10, 25, 50 ppm para elaborar la curva de calibración.
9. Realizar las lecturas en un espectrofotómetro (UV - V) a 420 nm de longitud de onda.

Los resultados obtenidos en el equipo (en valores de absorbancia) se introducen a la computadora y con el uso del Software Microsoft Excel[®] se realiza una curva de la cual se obtiene una ecuación para transformar dichos resultados a unidades de partes por millón (ppm).

4.4.2.3.2. DETERMINACIÓN DE POTASIO POR EL MÉTODO ESPECTOFOTOMÉTRICO. ⁽³⁾

Procedimiento:

El filtrado obtenido en la extracción de Fósforo sirve también para llevar a cabo la cuantificación de Potasio.

1. Del filtrado anterior se toma una alícuota de 5.0 mL.
2. Agregar 25.0 mL de agua destilada.
3. Preparar estándares de 0,10, 20, 30,40 ppm.
4. Las muestras se leen directamente en un espectrofotómetro de llama por el método de emisión.

Cálculos:

Formula general:

ppm de K = (valor obtenido en el equipo) x Factor de dilución (fd).

$$fd = \frac{25 \text{ mL (Soln. Extractora)}}{5.0 \text{ g (peso de la muestra)}} \times \frac{30 \text{ mL (volumen total del extracto)}}{5 \text{ mL (alícuota tomada)}} = 30$$

4.4.2.3.3. DETERMINACIÓN DE CALCIO Y MAGNESIO ⁽³⁾.

Procedimiento:

1. Pesar en tubo de centrifuga 2.0 g de suelo.
2. Añadir 20.0 mL de la solución de KCl.
3. Agitar 10 minutos, centrifugar y filtrar. (Este filtrado servirá para la determinación de la acidez total (H + Al).
4. Tomar una alícuota de 0.5 mL.
5. Añadir 40.0 mL de solución Tricloruro de Lantano (LaCl₃.)
6. Las muestras se leen directamente en un espectrofotómetro de absorción atómica por llama, a una longitud de onda de 422.7 nm para Calcio y 285.2 nm para el Magnesio.

*Para Calcio preparar soluciones estándares de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 ppm.

*Para Magnesio preparar soluciones estándares de 0, 0.3, 0.6, 1.2 y 3.6 ppm.

Cálculos para Calcio:

Formula general:

$$\text{Ca (meq/100g)} = \frac{(\text{valor obtenido en el equipo}) \times \text{factor de dilución (fd)} \times 100}{1000 \times \text{peso equivalente de Calcio}}$$

Factor de dilución (fd):

$$fd = \frac{20 \text{ mL (Sln. Extractora)}}{2.0 \text{ g (peso de la muestra)}} \times \frac{40.5 \text{ mL (volumen total del extracto)}}{0.5 \text{ mL (alícuota tomada)}}$$

$$Fd = 810$$

Peso equivalente de Calcio (Peq):

$$P_{eq} = \frac{\text{Masa Atómica de Calcio}}{\text{Número de valencia}}$$

$$P_{eq} = \frac{40.08}{2}$$

$$P_{eq} = 20.04$$

Factor de reducción a 1 meq de Calcio = Peq x 1000

Cálculos para Magnesio:

Formula general:

$$\text{Mg (meq/100g)} = \frac{(\text{valor obtenido en el equipo}) \times \text{factor de dilución (fd)} \times 100}{1000 \times \text{peso equivalente de Magnesio}}$$

Factor de dilución (Fd):

$$fd = \frac{20 \text{ mL (Sln. Extractora)}}{2.0 \text{ g (peso de la muestra)}} \times \frac{40.5 \text{ mL (volumen total del extracto)}}{0.5 \text{ mL (alícuota tomada)}}$$

$$Fd = 810$$

Peso equivalente de Magnesio (P_{eq}):

$$P_{eq} = \frac{\text{Masa Atómica de Magnesio}}{\text{Número de valencia}}$$

$$P_{eq} = \frac{24.305}{2}$$

$$P_{eq} = 12.1525$$

factor de reducción a 1 meq de Magnesio = P_{eq} x 1000

4.4.2.3.4. DETERMINACIÓN DE COBRE, HIERRO Y MANGANESO ⁽³⁾.

Procedimiento:

1. Pesar 5 g. de suelo en un tubo de centrifuga.
2. Añadir 25.0 mL. de solución de Carolina del Norte.
3. Agitar 5 minutos, centrifugar y filtrar en papel Whatman N° 1.

Preparar diluciones 1:5 para Mn y Fe. Leer directamente en el espectrofotómetro de absorción atómica por llama, a las longitudes de onda siguientes:

Cobre (Cu): 324.8 nm, Hierro (Fe): 248.3 nm y Manganeso (Mn): 279.5 nm.

Cálculos para Cobre:

ppm de Cu = (valor obtenido en el equipo) x Factor de dilución (fd).

$$fd = \frac{25 \text{ mL (Soln. Extractora)}}{5 \text{ g (peso de la muestra)}} = 5$$

Cálculos para Hierro:

ppm de Fe = (valor obtenido en el equipo) x Factor de dilución (fd).

$$fd = \frac{25 \text{ mL (Sln. Extractora)}}{5.0 \text{ g (peso de la muestra)}} \times \frac{30 \text{ mL (volumen total del extracto)}}{5 \text{ mL (alícuota tomada)}} = 30$$

Cálculos para Manganeso:

ppm de Mn = (valor obtenido en el equipo) x Factor de dilución (fd).

$$fd = \frac{25 \text{ mL (Sln. Extractora)}}{5.0 \text{ g (peso de la muestra)}} \times \frac{30 \text{ mL (volumen total del extracto)}}{5 \text{ mL (alícuota tomada)}} = 30$$

4.4.2.3.5. DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ TOTAL (H + AL) DEL SUELO. ⁽³⁾

En un suelo o una mezcla de suelo-agua, los grupos ácidos se encuentran sólo débilmente disociados (dando lugar a una elevación de pH) pero, sin embargo, la mayoría de ellos se disocian y liberan hidrógeno durante la extracción con una solución de una sal neutral. Sin embargo, una pequeña cantidad de hidrógeno se encuentra fuertemente sostenida por la arcilla y materia orgánica y solamente puede removerse mediante tratamiento con álcalis. Por lo tanto, la cantidad de álcali que se necesita para neutralizar un suelo ácido puede evaluarse bastante bien a partir de su valor de acidez

intercambiable, en relación con su capacidad de intercambio de cationes por el método más confiable, que es la titulación directa.

Procedimiento:

1. En un erlenmeyer de 50 mL pipetear un volumen de 10.0 mL de extracto de KCl obtenido en el paso 3 para la determinación de Calcio y Magnesio
2. Añada 5 gotas de fenolftaleína al extracto y titular la solución con NaOH 0.01N hasta que la solución (conteniendo un precipitado gelatinoso de hidróxido de aluminio) ha alcanzado un color rosado permanente.
3. Si se necesita añada unas pocas gotas más de indicador para reemplazar el absorbido por la precipitación (gel de alúmina) $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Cálculos:

Formula general:

$$\text{H} + \text{Al} (\text{meq}/100\text{g}) = \frac{\text{mL gastados de NaOH} \times \text{Normalidad de NaOH} \times 100}{\text{gramos de muestra tomados}}$$

CAPITULO V
RESULTADOS

5.0 RESULTADOS

5.1 DETERMINACIÓN DE pH.

La determinación de pH de las muestras se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelos del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). Esta determinación del pH para cada una de las muestras de suelo, se realizó mediante el método 4.4.2.1 descrito en la página 56.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Cuadro 2. Resultados de los valores de pH en las muestras de suelo de Cojutepeque.

Código	pH
CJ-1	4.50
CJ-2	4.50
CJ-3	4.50
CJ-4	4.50
CJ-5	4.60
CJ-6	4.60
CJ-7	4.60
CJ-8	4.60
CJ-9	4.70
CJ-10	4.70
CJ-11	4.80
CJ-12	4.80
CJ-13	4.80
CJ-14	4.90
CJ-15	5.00
CJ-16	5.00
CJ-17	5.10
CJ-18	5.20
CJ-19	5.20
CJ-20	5.40

Cuadro 3. Resultados de los valores de pH en las muestras de suelo de Ciudad Arce.

Código	pH	Código	pH
CA-1	4.00	CA-31	4.60
CA-2	4.10	CA-32	4.70
CA-3	4.20	CA-33	4.70
CA-4	4.20	CA-34	4.70
CA-5	4.30	CA-35	4.80
CA-6	4.40	CA-36	4.90
CA-7	4.40	CA-37	4.90
CA-8	4.40	CA-38	5.00
CA-9	4.40	CA-39	5.00
CA-10	4.40	CA-40	5.00
CA-11	4.40	CA-41	5.00
CA-12	4.40	CA-42	5.10
CA-13	4.40	CA-43	5.20
CA-14	4.40	CA-44	5.20
CA-15	4.40	CA-45	5.20
CA-16	4.50	CA-46	5.20
CA-17	4.50	CA-47	5.30
CA-18	4.50	CA-48	5.30
CA-19	4.50	CA-49	5.30
CA-20	4.50	CA-50	5.30
CA-21	4.50	CA-51	5.30
CA-22	4.50	CA-52	5.30
CA-23	4.50	CA-53	5.30
CA-24	4.50	CA-54	5.40
CA-25	4.60	CA-55	5.40
CA-26	4.60	CA-56	5.40
CA-27	4.60	CA-57	5.40
CA-28	4.60	CA-58	5.40
CA-29	4.60	CA-59	5.50
CA-30	4.60	CA-60	5.50

5.2. DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO.

La determinación de la textura al tacto es básica en este estudio debido a la interacción que tiene con la materia orgánica para deducir el comportamiento de todos los otros elementos en el proceso productivo de estos suelos y fue realizada según procedimientos estándares del Laboratorio de Suelos del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA).

Cuadro 4. Resultados de la determinación de textura en suelos de Cojutepeque.

Código	Textura
CJ-1	FA
CJ-2	FA
CJ-3	FA
CJ-4	FA
CJ-5	FA
CJ-6	FA
CJ-7	FA
CJ-8	FA
CJ-9	FA
CJ-10	FA
CJ-11	FA
CJ-12	FA
CJ-13	FA
CJ-14	FA
CJ-15	FA
CJ-16	FA
CJ-17	FA
CJ-18	FA
CJ-19	FA
CJ-20	FA

Cuadro 5. Resultados de la determinación de textura en suelos de Ciudad arce.

Código	Textura	Código	Textura
CA-1	FCA	CA-31	FCA
CA-2	FC	CA-32	FA
CA-3	F	CA-33	FC
CA-4	FCA	CA-34	FC
CA-5	FCA	CA-35	FA
CA-6	FA	CA-36	FA
CA-7	FA	CA-37	FA
CA-8	FCA	CA-38	FA
CA-9	FCA	CA-39	FA
CA-10	FCA	CA-40	F
CA-11	FCA	CA-41	F
CA-12	FCA	CA-42	FA
CA-13	FCA	CA-43	FA
CA-14	FCA	CA-44	FA
CA-15	FCA	CA-45	AF
CA-16	FA	CA-46	FC
CA-17	FA	CA-47	FA
CA-18	FA	CA-48	FA
CA-19	FCA	CA-49	FA
CA-20	FCA	CA-50	FA
CA-21	FCA	CA-51	FA
CA-22	FCA	CA-52	FA
CA-23	FCA	CA-53	FA
CA-24	F	CA-54	FA
CA-25	FA	CA-55	FA
CA-26	FA	CA-56	FA
CA-27	FA	CA-57	FA
CA-28	FCA	CA-58	FA
CA-29	FCA	CA-59	AF
CA-30	FCA	CA-60	FA

5.3. ANÁLISIS QUÍMICO CUANTITATIVO.

Todos los análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelos del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). Los métodos utilizados para el análisis químico cuantitativo se describen en el apartado 4.4.2.3. Los resultados obtenidos se muestran en los cuadros presentados a continuación.

5.3.1. DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA.

Cálculos:

Ejemplo: Muestra CJ - 1

$$\text{Factor (F)} = \frac{10 \text{ mL de K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7}{\text{mL gastados de FeSO}_4 \text{ (blanco)}}$$

$$\text{Factor (F)} = \frac{10}{19.9}$$

$$\text{Factor (F)} = 0.502513$$

$$\text{mL de K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 10 - (\text{F} \times \text{mL de FeSO}_4)$$

$$\text{mL de K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 10 - (0.502513 \times 18.4)$$

$$\text{mL de K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 0.7537608$$

$$\% \text{ M.O.} = \text{mL reducidos de K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 1.724$$

$$\% \text{ M.O.} = 0.7537608 \times 1.724$$

$$\% \text{ M.O.} = 1.299484 \approx 1.30\% \text{ de materia orgánica.}$$

Cuadro 6. Resultados de Materia Orgánica en unidades de partes por millón (ppm) obtenidos en las muestras de suelo de Cojutepeque.

Código	Materia orgánica %
CJ-1	1.30
CJ-2	1.12
CJ-3	0.95
CJ-4	1.65
CJ-5	1.47
CJ-6	1.39
CJ-7	0.78
CJ-8	1.21
CJ-9	0.95
CJ-10	0.69
CJ-11	1.47
CJ-12	0.95
CJ-13	1.47
CJ-14	1.04
CJ-15	1.99
CJ-16	1.04
CJ-17	1.82
CJ-18	1.73
CJ-19	1.13
CJ-20	1.99

Cuadro 7. Resultados de Materia Orgánica en unidades de partes por millón (ppm) obtenidos en las muestras de suelo de Ciudad Arce.

Código	Materia orgánica %	Código	Materia orgánica %
CA-1	1.03	CA-31	1.41
CA-2	1.96	CA-32	0.37
CA-3	2.55	CA-33	1.04
CA-4	1.68	CA-34	1.68
CA-5	1.74	CA-35	1.38
CA-6	0.75	CA-36	1.36
CA-7	1.28	CA-37	1.53
CA-8	2.04	CA-38	0.98
CA-9	1.31	CA-39	1.78
CA-10	1.05	CA-40	3.40
CA-11	0.98	CA-41	3.28
CA-12	1.36	CA-42	1.41
CA-13	1.23	CA-43	1.45
CA-14	1.08	CA-44	1.36
CA-15	1.38	CA-45	0.21
CA-16	1.41	CA-46	1.74
CA-17	1.35	CA-47	1.41
CA-18	1.59	CA-48	1.48
CA-19	1.96	CA-49	0.72
CA-20	1.88	CA-50	1.17
CA-21	1.71	CA-51	1.53
CA-22	1.68	CA-52	1.44
CA-23	1.59	CA-53	1.13
CA-24	2.78	CA-54	1.32
CA-25	1.38	CA-55	1.03
CA-26	1.31	CA-56	1.44
CA-27	0.75	CA-57	1.06
CA-28	1.71	CA-58	0.96
CA-29	2.13	CA-59	0.53
CA-30	1.68	CA-60	1.59

5.3.2. DETERMINACIÓN DE FÓSFORO.

Cuadro 8. Resultados de los valores de Fósforo (P) en unidades de partes por millón (ppm) en las muestras de suelo de Cojutepeque.

Código	Fósforo (ppm)
CJ-1	1
CJ-2	1
CJ-3	1
CJ-4	3
CJ-5	2
CJ-6	2
CJ-7	1
CJ-8	1
CJ-9	3
CJ-10	1
CJ-11	4
CJ-12	1
CJ-13	2
CJ-14	2
CJ-15	1
CJ-16	3
CJ-17	4
CJ-18	3
CJ-19	3
CJ-20	3

NOTA: Los resultados obtenidos en el equipo (en valores de absorbancia) fueron introducidos a la computadora y con el uso del Software Microsoft Excel[®] se realizó una curva de la cual se obtuvo una ecuación para transformar dichos resultados a unidades de partes por millón (ppm).

Cuadro 9. Resultados de los valores de Fósforo (P) en unidades de partes por millón (ppm) en las muestras de suelo de Ciudad Arce.

Código	Fósforo (ppm)	Código	Fósforo (ppm)
CA-1	2	CA-31	1
CA-2	1	CA-32	1
CA-3	3	CA-33	1
CA-4	1	CA-34	1
CA-5	3	CA-35	2
CA-6	2	CA-36	2
CA-7	4	CA-37	3
CA-8	5	CA-38	1
CA-9	1	CA-39	2
CA-10	4	CA-40	8
CA-11	2	CA-41	5
CA-12	3	CA-42	1
CA-13	5	CA-43	2
CA-14	3	CA-44	2
CA-15	4	CA-45	1
CA-16	2	CA-46	2
CA-17	5	CA-47	3
CA-18	1	CA-48	2
CA-19	4	CA-49	1
CA-20	5	CA-50	6
CA-21	2	CA-51	3
CA-22	3	CA-52	5
CA-23	4	CA-53	2
CA-24	7	CA-54	2
CA-25	4	CA-55	3
CA-26	4	CA-56	1
CA-27	1	CA-57	2
CA-28	2	CA-58	1
CA-29	4	CA-59	1
CA-30	2	CA-60	1

5.3.3 DETERMINACIÓN DE POTASIO.

Cálculos:

Ejemplo: Muestra CJ-1:

ppm de K = (valor obtenido en el equipo) x (Factor de dilución)

ppm de K = 1.7 x 30

ppm de K = 51

Cuadro 10. Resultados de los valores de Potasio (K) en unidades de partes por millón (ppm) en las muestras de suelo de Cojutepeque.

Código	Potasio (ppm)
CJ-1	51
CJ-2	57
CJ-3	71
CJ-4	64
CJ-5	75
CJ-6	67
CJ-7	59
CJ-8	71
CJ-9	67
CJ-10	74
CJ-11	67
CJ-12	62
CJ-13	76
CJ-14	64
CJ-15	67
CJ-16	72
CJ-17	66
CJ-18	71
CJ-19	78
CJ-20	71

Cuadro 11. Resultados de los valores de Potasio (K) en unidades de partes por millón (ppm) en las muestras de suelo de Ciudad Arce.

Código	Potasio (ppm)	Código	Potasio (ppm)
CA-1	11	CA-31	16
CA-2	16	CA-32	27
CA-3	12	CA-33	15
CA-4	18	CA-34	23
CA-5	15	CA-35	17
CA-6	12	CA-36	23
CA-7	19	CA-37	31
CA-8	28	CA-38	53
CA-9	14	CA-39	46
CA-10	22	CA-40	28
CA-11	19	CA-41	21
CA-12	24	CA-42	22
CA-13	16	CA-43	27
CA-14	27	CA-44	26
CA-15	24	CA-45	31
CA-16	18	CA-46	21
CA-17	16	CA-47	42
CA-18	21	CA-48	34
CA-19	12	CA-49	12
CA-20	19	CA-50	38
CA-21	25	CA-51	21
CA-22	45	CA-52	19
CA-23	27	CA-53	15
CA-24	26	CA-54	29
CA-25	25	CA-55	28
CA-26	18	CA-56	25
CA-27	29	CA-57	14
CA-28	23	CA-58	32
CA-29	22	CA-59	23
CA-30	48	CA-60	21

5.3.4. DETERMINACIÓN DE CALCIO Y MAGNESIO.

Cálculos para Calcio:

Ejemplo: Muestra CJ-1

$$\text{Ca (meq/100g)} = \frac{(\text{valor obtenido en el equipo}) \times \text{factor de dilución (fd)} \times 100}{1000 \times \text{peso equivalente de Calcio}}$$

$$\text{Ca (meq/100g)} = \frac{0.268 \times 810 \times 100}{1000 \times 20.02}$$

$$\text{Ca (meq/100g)} = 1.0843... \approx 1.08 \text{ meq/100g.}$$

Cuadro 12. Resultados de Calcio (Ca) expresados en unidades de miliequivalentes por 100 gramos de muestra (meq/100g) obtenidos en las muestras de suelo de Cojutepeque.

Código	Calcio Meq/100g
CJ-1	1.08
CJ-2	1.03
CJ-3	0.91
CJ-4	1.15
CJ-5	1.06
CJ-6	1.19
CJ-7	1.04
CJ-8	1.32
CJ-9	0.89
CJ-10	1.53
CJ-11	1.18
CJ-12	0.92
CJ-13	1.03
CJ-14	1.37
CJ-15	1.19
CJ-16	1.62
CJ-17	1.17
CJ-18	1.76
CJ-19	1.53
CJ-20	1.88

Cuadro 13. Resultados de Calcio (Ca) expresados en unidades de miliequivalentes por 100 gramos de muestra (meq/100g) obtenidos en las muestras de suelo de Ciudad Arce.

Código	Calcio meq/100g	Código	Calcio meq/100g
CA-1	1.03	CA-31	1.19
CA-2	1.31	CA-32	0.42
CA-3	1.76	CA-33	0.78
CA-4	1.02	CA-34	1.56
CA-5	1.23	CA-35	0.98
CA-6	0.85	CA-36	1.09
CA-7	1.08	CA-37	1.22
CA-8	1.49	CA-38	0.83
CA-9	1.52	CA-39	1.48
CA-10	1.31	CA-40	1.97
CA-11	0.56	CA-41	2.15
CA-12	1.53	CA-42	1.36
CA-13	1.18	CA-43	1.28
CA-14	1.15	CA-44	1.49
CA-15	1.26	CA-45	0.68
CA-16	0.97	CA-46	1.62
CA-17	1.03	CA-47	1.27
CA-18	0.92	CA-48	1.40
CA-19	1.49	CA-49	1.14
CA-20	1.58	CA-50	1.27
CA-21	0.87	CA-51	1.05
CA-22	1.33	CA-52	1.34
CA-23	1.42	CA-53	0.87
CA-24	2.04	CA-54	1.51
CA-25	1.22	CA-55	1.38
CA-26	1.03	CA-56	1.63
CA-27	0.69	CA-57	1.67
CA-28	1.19	CA-58	0.94
CA-29	1.68	CA-59	0.56
CA-30	1.06	CA-60	1.23

Cálculos para Magnesio:**Ejemplo:** muestra CJ-1

$$\text{Mg (meq/100g)} = \frac{(\text{valor obtenido en el equipo}) \times \text{factor de dilución (fd)} \times 100}{1000 \times \text{peso equivalente de Magnesio}}$$

$$\text{Mg (meq/100g)} = \frac{0.042 \times 810 \times 100}{1000 \times 12.1525}$$

$$\text{Mg (meq/100g)} = 0.27994... \approx 0.28 \text{ meq/100g.}$$

Cuadro 14. Resultados de Magnesio (Mg) expresados en unidades de miliequivalentes por 100 gramos de muestra (meq/100g) obtenidos en las muestras de suelo de Cojutepeque.

Código	Magnesio meq/100g
CJ-1	0.28
CJ-2	0.36
CJ-3	0.19
CJ-4	0.37
CJ-5	0.29
CJ-6	0.44
CJ-7	0.51
CJ-8	0.43
CJ-9	0.37
CJ-10	0.28
CJ-11	0.47
CJ-12	0.38
CJ-13	0.29
CJ-14	0.39
CJ-15	0.29
CJ-16	0.37
CJ-17	0.48
CJ-18	0.57
CJ-19	0.62
CJ-20	0.73

Cuadro 15. Resultados de Magnesio (Mg) expresados en unidades de miliequivalentes por 100 gramos de muestra (meq/100g) obtenidos en las muestras de suelo de Ciudad Arce.

Código	Magnesio meq/100g	Código	Magnesio meq/100g
CA-1	0.55	CA-31	0.46
CA-2	0.64	CA-32	0.13
CA-3	0.74	CA-33	0.39
CA-4	0.53	CA-34	0.65
CA-5	0.59	CA-35	0.48
CA-6	0.36	CA-36	0.41
CA-7	0.76	CA-37	0.51
CA-8	0.79	CA-38	0.29
CA-9	0.22	CA-39	0.43
CA-10	0.21	CA-40	1.13
CA-11	0.27	CA-41	0.97
CA-12	0.36	CA-42	0.43
CA-13	0.57	CA-43	0.49
CA-14	0.60	CA-44	0.46
CA-15	0.68	CA-45	0.14
CA-16	0.41	CA-46	0.53
CA-17	0.47	CA-47	0.70
CA-18	0.38	CA-48	0.48
CA-19	0.72	CA-49	0.15
CA-20	0.79	CA-50	0.54
CA-21	0.68	CA-51	0.68
CA-22	0.44	CA-52	0.70
CA-23	0.41	CA-53	0.59
CA-24	0.82	CA-54	0.61
CA-25	0.55	CA-55	0.46
CA-26	0.61	CA-56	0.52
CA-27	0.28	CA-57	0.58
CA-28	0.67	CA-58	0.36
CA-29	0.72	CA-59	0.23
CA-30	0.59	CA-60	0.64

5.3.5. DETERMINACIÓN DE COBRE.

Cálculos para Cobre:

Ejemplo: Muestra CJ-1:

ppm de Cu = (valor obtenido en el equipo) x Factor de dilución

ppm de Cu = 0.024 x 5

ppm de Cu = 0.12

Cuadro 16. Resultados de Cobre (Cu) en unidades de partes por millón (ppm) obtenidos en las muestras de suelo de Cojutepeque.

Código	Cobre (ppm)
CJ-1	0.12
CJ-2	0.18
CJ-3	0.13
CJ-4	0.09
CJ-5	0.10
CJ-6	0.16
CJ-7	0.11
CJ-8	0.14
CJ-9	0.18
CJ-10	0.13
CJ-11	0.14
CJ-12	0.11
CJ-13	0.18
CJ-14	0.13
CJ-15	0.17
CJ-16	0.11
CJ-17	0.22
CJ-18	0.19
CJ-19	0.26
CJ-20	0.31

Cuadro 17. Resultados de Cobre (Cu) en unidades de partes por millón (ppm) obtenidos en las muestras de suelo de Ciudad Arce.

Código	Cobre (ppm)	Código	Cobre (ppm)
CA-1	0.16	CA-31	0.04
CA-2	0.18	CA-32	0.08
CA-3	0.21	CA-33	0.05
CA-4	0.09	CA-34	0.12
CA-5	0.17	CA-35	0.18
CA-6	0.15	CA-36	0.19
CA-7	0.25	CA-37	0.15
CA-8	0.32	CA-38	0.21
CA-9	0.26	CA-39	0.24
CA-10	0.16	CA-40	0.86
CA-11	0.19	CA-41	0.54
CA-12	0.05	CA-42	0.22
CA-13	0.08	CA-43	0.26
CA-14	0.19	CA-44	0.19
CA-15	0.11	CA-45	0.09
CA-16	0.17	CA-46	0.28
CA-17	0.21	CA-47	0.24
CA-18	0.06	CA-48	0.22
CA-19	0.22	CA-49	0.27
CA-20	0.19	CA-50	0.34
CA-21	0.09	CA-51	0.29
CA-22	0.29	CA-52	0.32
CA-23	0.15	CA-53	0.42
CA-24	0.09	CA-54	0.34
CA-25	0.14	CA-55	0.31
CA-26	0.06	CA-56	0.37
CA-27	0.12	CA-57	0.32
CA-28	0.13	CA-58	0.41
CA-29	0.16	CA-59	0.09
CA-30	0.36	CA-60	0.38

5.3.6. DETERMINACIÓN DE HIERRO.

Cálculos para Hierro:

Ejemplo: Muestra CJ-1

ppm de Fe = (valor obtenido en el equipo) x Factor de dilución (fd).

ppm de Fe = 0.217 x 30

ppm de Fe = 6.51

Cuadro 18. Resultados de Hierro (Fe) en unidades de partes por millón (ppm) obtenidos en las muestras de suelo de Cojutepeque.

Código	Hierro (ppm)
CJ-1	6.51
CJ-2	5.48
CJ-3	6.17
CJ-4	4.22
CJ-5	4.04
CJ-6	3.92
CJ-7	4.92
CJ-8	5.29
CJ-9	4.97
CJ-10	6.54
CJ-11	5.45
CJ-12	5.96
CJ-13	6.05
CJ-14	4.92
CJ-15	5.72
CJ-16	6.18
CJ-17	3.56
CJ-18	2.98
CJ-19	3.62
CJ-20	2.98

Cuadro 19. Resultados de Hierro (Fe) en unidades de partes por millón (ppm) obtenidos en las muestras de suelo de Ciudad Arce.

Código	Hierro (ppm)	Código	Hierro (ppm)
CA-1	14.61	CA-31	8.46
CA-2	6.26	CA-32	5.23
CA-3	12.13	CA-33	7.12
CA-4	9.03	CA-34	5.41
CA-5	11.98	CA-35	4.16
CA-6	5.26	CA-36	4.35
CA-7	5.45	CA-37	5.32
CA-8	9.73	CA-38	5.21
CA-9	10.85	CA-39	4.41
CA-10	11.06	CA-40	18.26
CA-11	10.14	CA-41	13.54
CA-12	7.51	CA-42	4.83
CA-13	9.30	CA-43	6.39
CA-14	10.36	CA-44	5.78
CA-15	11.62	CA-45	1.95
CA-16	6.24	CA-46	4.35
CA-17	5.80	CA-47	3.99
CA-18	5.92	CA-48	2.35
CA-19	8.32	CA-49	3.44
CA-20	10.41	CA-50	3.85
CA-21	9.10	CA-51	3.31
CA-22	11.45	CA-52	2.54
CA-23	10.51	CA-53	4.71
CA-24	13.16	CA-54	3.34
CA-25	6.06	CA-55	3.83
CA-26	5.81	CA-56	2.51
CA-27	4.23	CA-57	3.77
CA-28	9.68	CA-58	3.41
CA-29	7.20	CA-59	0.62
CA-30	8.52	CA-60	2.73

5.3.7. DETERMINACIÓN DE MANGANESO.

Cálculos para Manganeso (Mn):

Ejemplo: Muestra CJ-1:

ppm de Mn = valor obtenido en el equipo x Factor de dilución (fd).

ppm de Mn = 0.025 x 30

ppm de Mn = 0.75

Cuadro 20. Resultados de Manganeso (Mn) en unidades de partes por millón (ppm) obtenidos en las muestras de suelo de Cojutepeque.

Código	Manganeso (ppm)
CJ-1	0.75
CJ-2	0.45
CJ-3	0.62
CJ-4	0.71
CJ-5	0.33
CJ-6	0.42
CJ-7	0.54
CJ-8	0.81
CJ-9	1.26
CJ-10	0.52
CJ-11	0.83
CJ-12	1.68
CJ-13	1.03
CJ-14	0.91
CJ-15	1.31
CJ-16	2.01
CJ-17	2.68
CJ-18	3.11
CJ-19	2.34
CJ-20	2.43

Cuadro 21. Resultados de Manganeso (Mn) en unidades de partes por millón (ppm) obtenidos en las muestras de suelo de Ciudad Arce.

Código	Manganeso (ppm)	Código	Manganeso (ppm)
CA-1	0.87	CA-31	0.79
CA-2	0.62	CA-32	0.34
CA-3	1.23	CA-33	0.44
CA-4	0.62	CA-34	0.53
CA-5	0.78	CA-35	0.35
CA-6	0.42	CA-36	0.44
CA-7	0.55	CA-37	0.65
CA-8	0.76	CA-38	0.63
CA-9	0.88	CA-39	0.59
CA-10	0.74	CA-40	2.03
CA-11	0.82	CA-41	1.64
CA-12	0.65	CA-42	0.58
CA-13	0.75	CA-43	0.76
CA-14	0.61	CA-44	0.62
CA-15	0.59	CA-45	0.26
CA-16	0.35	CA-46	0.77
CA-17	0.42	CA-47	0.69
CA-18	0.55	CA-48	0.58
CA-19	0.75	CA-49	0.87
CA-20	0.86	CA-50	0.93
CA-21	0.72	CA-51	0.72
CA-22	0.63	CA-52	0.83
CA-23	0.87	CA-53	0.73
CA-24	1.36	CA-54	0.77
CA-25	0.45	CA-55	0.63
CA-26	0.57	CA-56	0.69
CA-27	0.62	CA-57	0.88
CA-28	0.83	CA-58	0.83
CA-29	0.76	CA-59	0.42
CA-30	0.88	CA-60	0.94

5.3.8. DETERMINACION DE ACIDEZ TOTAL EN SUELOS (H + Al)

Cálculos:

Ejemplo: Muestra CJ-1

$$H + Al \text{ (meq/100g)} = \frac{\text{mL gastados de NaOH} \times \text{Normalidad de NaOH} \times 100}{\text{gramos de muestra tomados}}$$

$$H + Al \text{ (meq/100g)} = \frac{0.32 \times 0.01 \times 100}{1}$$

$$H + Al \text{ (meq/100g)} = 0.32$$

Cuadro 22. Resultados de acidez total (H + Al) expresados en unidades de miliequivalentes por 100 gramos de muestra (meq/100g) obtenidos en las muestras de suelo de Cojutepeque.

Código	H + AL meq/100g
CJ-1	0.32
CJ-2	0.27
CJ-3	0.22
CJ-4	0.29
CJ-5	0.24
CJ-6	0.18
CJ-7	0.21
CJ-8	0.24
CJ-9	0.22
CJ-10	0.19
CJ-11	0.13
CJ-12	0.23
CJ-13	0.24
CJ-14	0.09
CJ-15	0.07
CJ-16	0.08
CJ-17	0.05
CJ-18	0.05
CJ-19	0.08
CJ-20	0.04

Cuadro 23. Resultados de acidez total (H + Al) expresados en unidades de miliequivalentes por 100 gramos de muestra (meq/100g) obtenidos en las muestras de suelo de Ciudad Arce.

Código	H + AL meq/100g	Código	H + AL meq/100g
CA-1	0.79	CA-31	1.01
CA-2	1.68	CA-32	0.48
CA-3	1.78	CA-33	0.33
CA-4	0.75	CA-34	0.36
CA-5	0.66	CA-35	0.52
CA-6	0.26	CA-36	0.25
CA-7	0.31	CA-37	0.45
CA-8	0.53	CA-38	0.10
CA-9	0.64	CA-39	0.16
CA-10	0.72	CA-40	0.48
CA-11	0.77	CA-41	0.72
CA-12	0.82	CA-42	0.34
CA-13	1.16	CA-43	0.09
CA-14	1.28	CA-44	0.18
CA-15	0.94	CA-45	0.41
CA-16	0.26	CA-46	0.40
CA-17	0.33	CA-47	0.27
CA-18	0.22	CA-48	0.07
CA-19	0.76	CA-49	0.34
CA-20	0.67	CA-50	0.06
CA-21	1.03	CA-51	0.25
CA-22	0.55	CA-52	0.24
CA-23	0.50	CA-53	0.08
CA-24	0.95	CA-54	0.06
CA-25	1.18	CA-55	0.06
CA-26	0.26	CA-56	0.05
CA-27	0.29	CA-57	0.11
CA-28	0.85	CA-58	0.27
CA-29	0.39	CA-59	0.06

CAPITULO VI

PRESENTACION E INTERPRETACION DE RESULTADOS

6.0 PRESENTACION E INTERPRETACION DE RESULTADOS.

A partir de los resultados obtenidos, se realizó una relación entre ellos y los diferentes valores de pH. Para ello, se utilizaron gráficos de Dispersión XY que sirven para mostrar las relaciones existentes entre los valores numéricos de varias series de datos o traza dos grupos de números como una serie de coordenadas XY. Muestra intervalos desiguales, o agrupaciones, de datos y suele utilizarse para datos científicos.

En dichos gráficos se definen las unidades en las que son reportados los resultados y también se indican los diferentes rangos de disponibilidad para cada elemento en estudio.

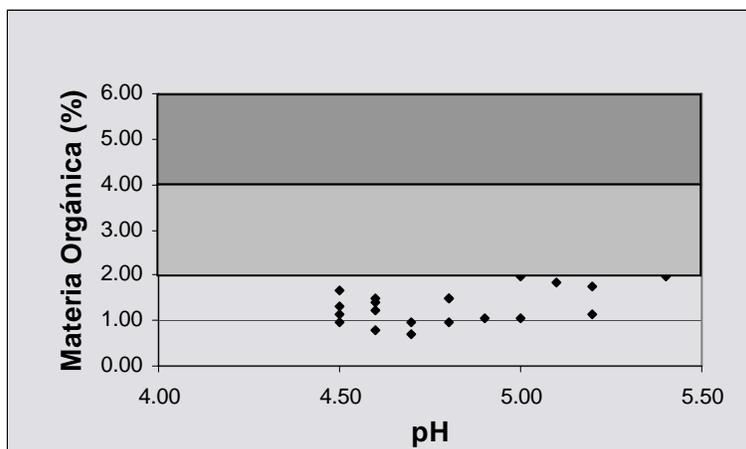
La interpretación de los resultados se realizó en dos etapas, Primero, los resultados relacionados al municipio de Cojutepeque y luego los pertenecientes al municipio de Ciudad Arce, debido a que estos se analizan de manera separada, y no se establece ninguna relación entre ellos en este estudio.

En todos los cuadros presentados se incluirá el contenido textural de los suelos y el pH, lo cual permite una mejor interpretación de los resultados obtenidos.

6.1. Presentación de resultados de suelos de la zona de Cojutepeque.

Cuadro 24. Relación de pH vrs. Materia Orgánica en suelos de Cojutepeque.

Código	Textura	pH	Materia orgánica %
CJ-1	FA	4.50	1.30
CJ-2	FA	4.50	1.12
CJ-3	FA	4.50	0.95
CJ-4	FA	4.50	1.65
CJ-5	FA	4.60	1.47
CJ-6	FA	4.60	1.39
CJ-7	FA	4.60	0.78
CJ-8	FA	4.60	1.21
CJ-9	FA	4.70	0.95
CJ-10	FA	4.70	0.69
CJ-11	FA	4.80	1.47
CJ-12	FA	4.80	0.95
CJ-13	FA	4.80	1.47
CJ-14	FA	4.90	1.04
CJ-15	FA	5.00	1.99
CJ-16	FA	5.00	1.04
CJ-17	FA	5.10	1.82
CJ-18	FA	5.20	1.73
CJ-19	FA	5.20	1.13
CJ-20	FA	5.40	1.99



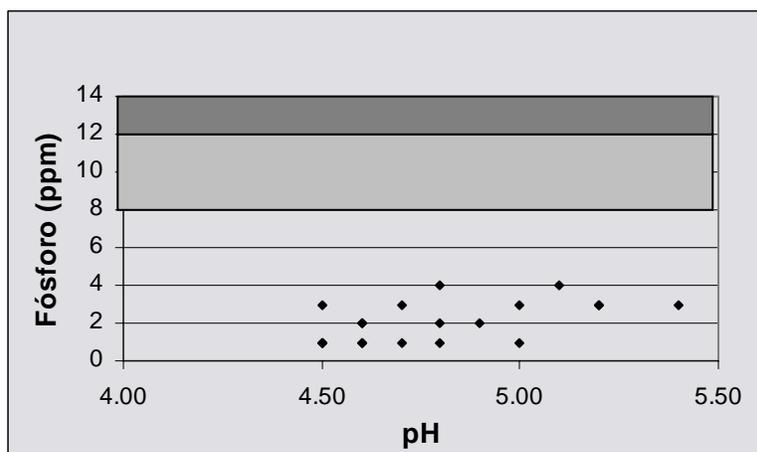
Rangos de disponibilidad

Rangos	Categoría
< 2%	Bajo
2 - 4%	Medio
> 4%	Alto

Figura 6. Relación de pH vrs. Materia Orgánica en suelos de Cojutepeque.

Cuadro 25. Relación de pH vs. Fósforo en suelos de Cojutepeque.

Código	Textura	pH	Fósforo (ppm)
CJ-1	FA	4.50	1
CJ-2	FA	4.50	1
CJ-3	FA	4.50	1
CJ-4	FA	4.50	3
CJ-5	FA	4.60	2
CJ-6	FA	4.60	2
CJ-7	FA	4.60	1
CJ-8	FA	4.60	1
CJ-9	FA	4.70	3
CJ-10	FA	4.70	1
CJ-11	FA	4.80	4
CJ-12	FA	4.80	1
CJ-13	FA	4.80	2
CJ-14	FA	4.90	2
CJ-15	FA	5.00	1
CJ-16	FA	5.00	3
CJ-17	FA	5.10	4
CJ-18	FA	5.20	3
CJ-19	FA	5.20	3
CJ-20	FA	5.40	3



Rango de disponibilidad

Rango	Fósforo (ppm)
Muy bajo	0 a 8
Bajo	9 a 12
Alto	13 a 30
Muy alto	> 30

Figura 7. Relación de pH vs. Fósforo en suelos de Cojutepeque

Cuadro 26. Relación de pH vrs. Potasio en suelos de Cojutepeque.

Código	Textura	pH	Potasio (ppm)
CJ-1	FA	4.50	51
CJ-2	FA	4.50	57
CJ-3	FA	4.50	71
CJ-4	FA	4.50	64
CJ-5	FA	4.60	75
CJ-6	FA	4.60	67
CJ-7	FA	4.60	59
CJ-8	FA	4.60	71
CJ-9	FA	4.70	67
CJ-10	FA	4.70	74
CJ-11	FA	4.80	67
CJ-12	FA	4.80	62
CJ-13	FA	4.80	76
CJ-14	FA	4.90	64
CJ-15	FA	5.00	67
CJ-16	FA	5.00	72
CJ-17	FA	5.10	66
CJ-18	FA	5.20	71
CJ-19	FA	5.20	78
CJ-20	FA	5.40	71

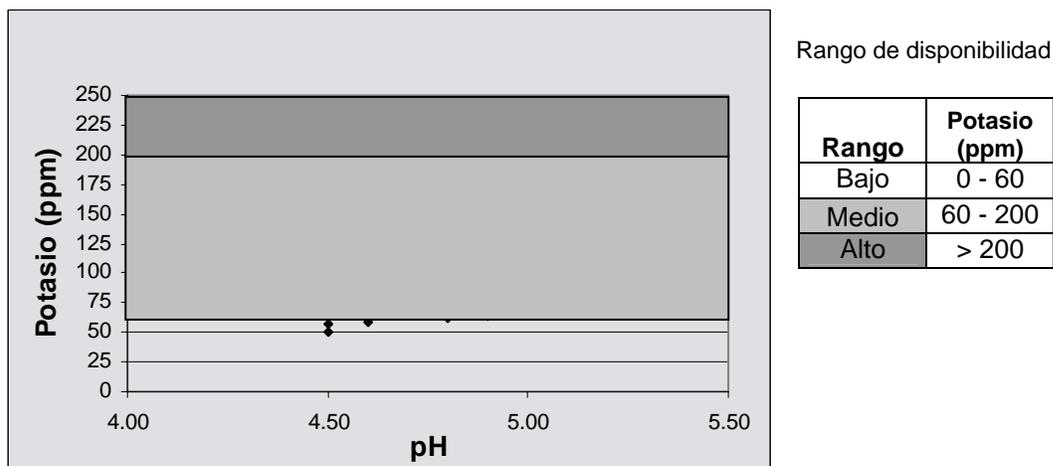
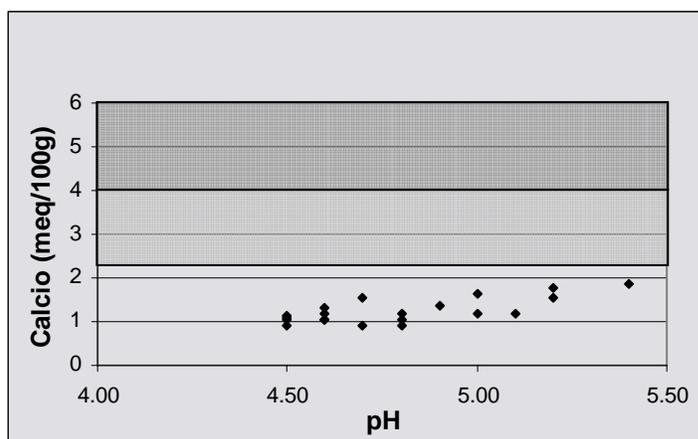


Figura 8. Relación de pH vrs. Potasio en suelos de Cojutepeque.

Cuadro 27. Relación de pH vrs. Calcio en suelos de Cojutepeque.

Código	Textura	pH	Calcio meq/100g
CJ-1	FA	4.50	1.08
CJ-2	FA	4.50	1.03
CJ-3	FA	4.50	0.91
CJ-4	FA	4.50	1.15
CJ-5	FA	4.60	1.06
CJ-6	FA	4.60	1.19
CJ-7	FA	4.60	1.04
CJ-8	FA	4.60	1.32
CJ-9	FA	4.70	0.89
CJ-10	FA	4.70	1.53
CJ-11	FA	4.80	1.18
CJ-12	FA	4.80	0.92
CJ-13	FA	4.80	1.03
CJ-14	FA	4.90	1.37
CJ-15	FA	5.00	1.19
CJ-16	FA	5.00	1.62
CJ-17	FA	5.10	1.17
CJ-18	FA	5.20	1.76
CJ-19	FA	5.20	1.53
CJ-20	FA	5.40	1.88



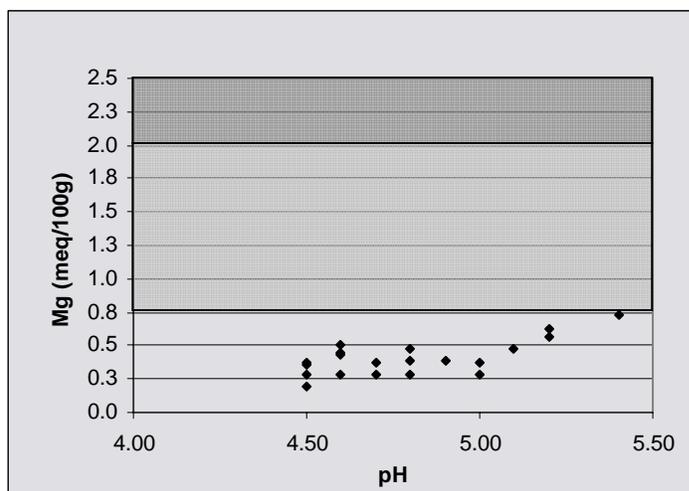
Rangos de disponibilidad

Rango	Meq Ca/100 g
Muy bajo	0 - 2.2
Bajo	2.3 - 4.0
Alto	4.1 - 36
Muy alto	> 36

Figura 9. Relación de pH vrs. Calcio en suelos de Cojutepeque.

Cuadro 28. Relación de pH vrs. Magnesio en suelos de Cojutepeque.

Código	Textura	pH	Magnesio meq/100g
CJ-1	FA	4.50	0.28
CJ-2	FA	4.50	0.36
CJ-3	FA	4.50	0.19
CJ-4	FA	4.50	0.37
CJ-5	FA	4.60	0.29
CJ-6	FA	4.60	0.44
CJ-7	FA	4.60	0.51
CJ-8	FA	4.60	0.43
CJ-9	FA	4.70	0.37
CJ-10	FA	4.70	0.28
CJ-11	FA	4.80	0.47
CJ-12	FA	4.80	0.38
CJ-13	FA	4.80	0.29
CJ-14	FA	4.90	0.39
CJ-15	FA	5.00	0.29
CJ-16	FA	5.00	0.37
CJ-17	FA	5.10	0.48
CJ-18	FA	5.20	0.57
CJ-19	FA	5.20	0.62
CJ-20	FA	5.40	0.73



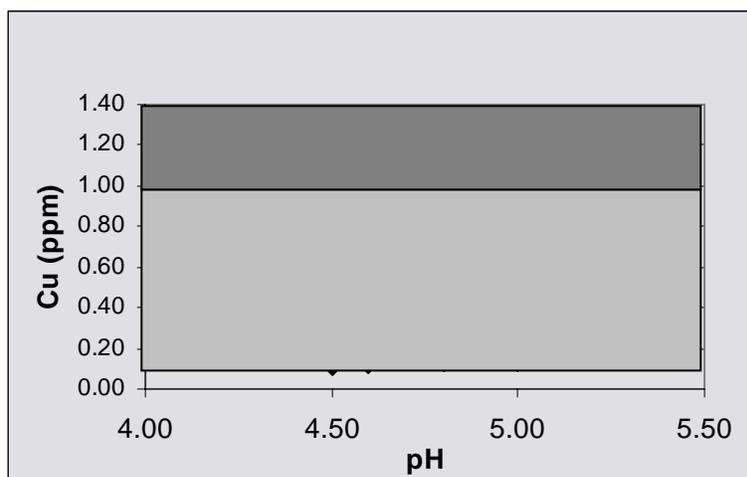
Rangos de disponibilidad

Meq Mg/100g	Rango
0 - 0.8	Muy bajo
0.9 - 2.0	Bajo
2.1 - 18	Alto
> 18	Muy alto

Figura 10. Relación de pH vrs. Magnesio en suelos de Cojutepeque.

Cuadro No. 29. Relación de pH vrs. Cobre en suelos de Cojutepeque.

Código	Textura	pH	Cobre (ppm)
CJ-1	FA	4.50	0.12
CJ-2	FA	4.50	0.18
CJ-3	FA	4.50	0.13
CJ-4	FA	4.50	0.09
CJ-5	FA	4.60	0.10
CJ-6	FA	4.60	0.16
CJ-7	FA	4.60	0.11
CJ-8	FA	4.60	0.14
CJ-9	FA	4.70	0.18
CJ-10	FA	4.70	0.13
CJ-11	FA	4.80	0.14
CJ-12	FA	4.80	0.11
CJ-13	FA	4.80	0.18
CJ-14	FA	4.90	0.13
CJ-15	FA	5.00	0.17
CJ-16	FA	5.00	0.11
CJ-17	FA	5.10	0.22
CJ-18	FA	5.20	0.19
CJ-19	FA	5.20	0.26
CJ-20	FA	5.40	0.31



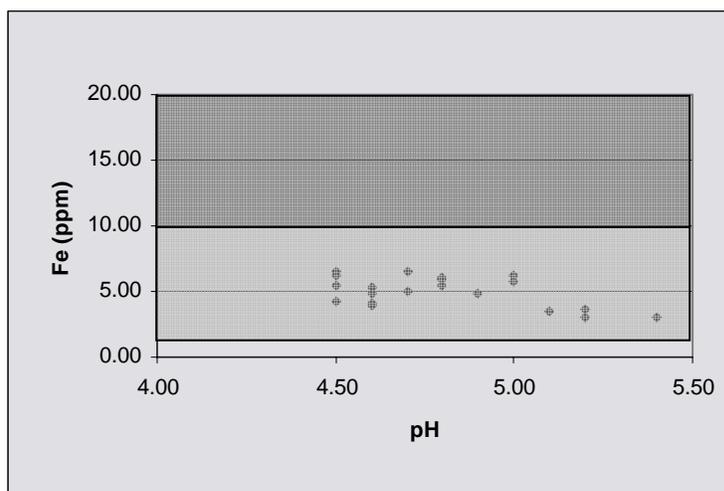
Rangos de disponibilidad

Cobre (ppm)	Rango
0 - 0.1	Muy bajo
0.2 - 1.0	Bajo
1.1 - 3.0	Alto
3.1 - 20	Muy alto

Figura 11. Relación de pH vrs. Cobre en suelos de Cojutepeque.

Cuadro 30. Relación de pH vrs. Hierro en suelos de Cojutepeque.

Código	Textura	pH	Hierro (ppm)
CJ-1	FA	4.50	6.51
CJ-2	FA	4.50	5.48
CJ-3	FA	4.50	6.17
CJ-4	FA	4.50	4.22
CJ-5	FA	4.60	4.04
CJ-6	FA	4.60	3.92
CJ-7	FA	4.60	4.92
CJ-8	FA	4.60	5.29
CJ-9	FA	4.70	4.97
CJ-10	FA	4.70	6.54
CJ-11	FA	4.80	5.45
CJ-12	FA	4.80	5.96
CJ-13	FA	4.80	6.05
CJ-14	FA	4.90	4.92
CJ-15	FA	5.00	5.72
CJ-16	FA	5.00	6.18
CJ-17	FA	5.10	3.56
CJ-18	FA	5.20	2.98
CJ-19	FA	5.20	3.62
CJ-20	FA	5.40	2.98



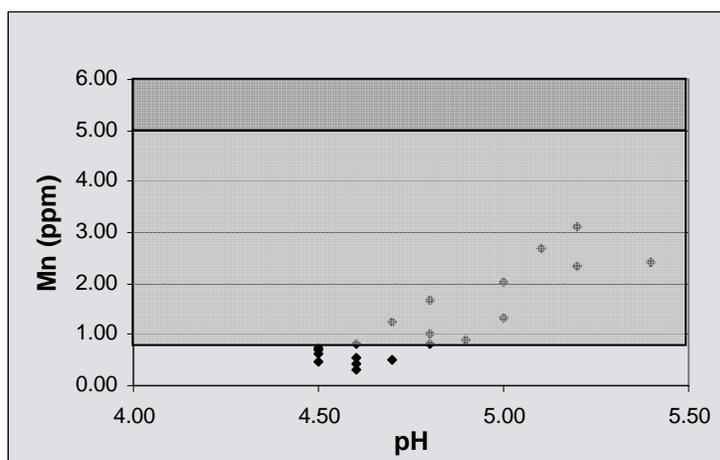
Rangos de disponibilidad

Hierro (ppm)	Rango
0 a 1	Muy bajo
2 a 10	Bajo
11 a 20	Alto
21 - 80	Muy alto

Figura 12. Relación de pH vrs. Hierro en suelos de Cojutepeque.

Cuadro 31. Relación de pH vrs. Manganeso en suelos de Cojutepeque.

Código	Textura	pH	Manganeso (ppm)
CJ-1	FA	4.50	0.75
CJ-2	FA	4.50	0.45
CJ-3	FA	4.50	0.62
CJ-4	FA	4.50	0.71
CJ-5	FA	4.60	0.33
CJ-6	FA	4.60	0.42
CJ-7	FA	4.60	0.54
CJ-8	FA	4.60	0.81
CJ-9	FA	4.70	1.26
CJ-10	FA	4.70	0.52
CJ-11	FA	4.80	0.83
CJ-12	FA	4.80	1.68
CJ-13	FA	4.80	1.03
CJ-14	FA	4.90	0.91
CJ-15	FA	5.00	1.31
CJ-16	FA	5.00	2.01
CJ-17	FA	5.10	2.68
CJ-18	FA	5.20	3.11
CJ-19	FA	5.20	2.34
CJ-20	FA	5.40	2.43



Rangos de disponibilidad

Manganeso (ppm)	Rango
0 - 0.7	Muy bajo
0.8 - 5	Bajo
5.1 - 10	Alto
11 - 100	Muy alto

Figura 13. Relación de pH vrs. Manganeso en suelos de Cojutepeque.

Cuadro 32. Relación de pH vrs. Acidez Total en suelos de Cojutepeque.

Código	Textura	pH	H + AL meq/100g
CJ-1	FA	4.50	0.32
CJ-2	FA	4.50	0.27
CJ-3	FA	4.50	0.22
CJ-4	FA	4.50	0.29
CJ-5	FA	4.60	0.24
CJ-6	FA	4.60	0.18
CJ-7	FA	4.60	0.21
CJ-8	FA	4.60	0.24
CJ-9	FA	4.70	0.22
CJ-10	FA	4.70	0.19
CJ-11	FA	4.80	0.13
CJ-12	FA	4.80	0.23
CJ-13	FA	4.80	0.24
CJ-14	FA	4.90	0.09
CJ-15	FA	5.00	0.07
CJ-16	FA	5.00	0.08
CJ-17	FA	5.10	0.05
CJ-18	FA	5.20	0.05
CJ-19	FA	5.20	0.08
CJ-20	FA	5.40	0.04

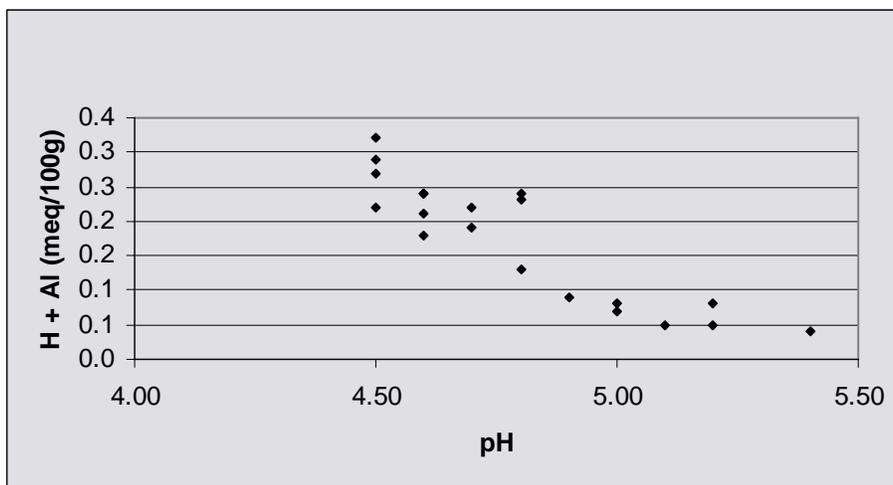


Figura 14. Relación de pH vrs. Acidez Total en suelos de Cojutepeque

NOTA: No se cuentan con rangos sobre la acidez total (H + Al), ya que se considera que únicamente valores arriba de 1meq/100g podrían presentar toxicidad con Aluminio.

Cuadro 33. Cuadro general de Resultados de la zona de Cojutepeque.

Código	Textura	pH	Materia orgánica %	Fósforo (ppm)	Potasio (ppm)	Calcio meq/100g	Magnesio meq/100g	Cobre (ppm)	Hierro (ppm)	Manganeso (ppm)	H + AL meq/100g
CJ-1	FA	4.50	1.30	1	51	1.08	0.28	0.12	6.51	0.75	0.32
CJ-2	FA	4.50	1.12	1	57	1.03	0.36	0.18	5.48	0.45	0.27
CJ-3	FA	4.50	0.95	1	71	0.91	0.19	0.13	6.17	0.62	0.22
CJ-4	FA	4.50	1.65	3	64	1.15	0.37	0.09	4.22	0.71	0.29
CJ-5	FA	4.60	1.47	2	75	1.06	0.29	0.10	4.04	0.33	0.24
CJ-6	FA	4.60	1.39	2	67	1.19	0.44	0.16	3.92	0.42	0.18
CJ-7	FA	4.60	0.78	1	59	1.04	0.51	0.11	4.92	0.54	0.21
CJ-8	FA	4.60	1.21	1	71	1.32	0.43	0.14	5.29	0.81	0.24
CJ-9	FA	4.70	0.95	3	67	0.89	0.37	0.18	4.97	1.26	0.22
CJ-10	FA	4.70	0.69	1	74	1.53	0.28	0.13	6.54	0.52	0.19
CJ-11	FA	4.80	1.47	4	67	1.18	0.47	0.14	5.45	0.83	0.13
CJ-12	FA	4.80	0.95	1	62	0.92	0.38	0.11	5.96	1.68	0.23
CJ-13	FA	4.80	1.47	2	76	1.03	0.29	0.18	6.05	1.03	0.24
CJ-14	FA	4.90	1.04	2	64	1.37	0.39	0.13	4.92	0.91	0.09
CJ-15	FA	5.00	1.99	1	67	1.19	0.29	0.17	5.72	1.31	0.07
CJ-16	FA	5.00	1.04	3	72	1.62	0.37	0.11	6.18	2.01	0.08
CJ-17	FA	5.10	1.82	4	66	1.17	0.48	0.22	3.56	2.68	0.05
CJ-18	FA	5.20	1.73	3	71	1.76	0.57	0.19	2.98	3.11	0.05
CJ-19	FA	5.20	1.13	3	78	1.53	0.62	0.26	3.62	2.34	0.08
CJ-20	FA	5.40	1.99	3	71	1.88	0.73	0.31	2.98	2.43	0.04

6.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS EN SUELOS DE LA ZONA DE COJUTEPEQUE.

De acuerdo con los resultados presentados de 20 muestras analizadas en este municipio, se encontró que los valores de pH obtenidos van desde un valor mínimo de 4.50 hasta un valor máximo de 5.40, lo que los ubica en un rango de “Muy Fuertemente a Moderadamente ácidos”. Además de ello es importante señalar que todas las muestras analizadas reportaron que en un alto porcentaje la textura de dichos suelos es “Franco - Arenosa” (FA), esto significa que la presencia o el contenido de arena es alto, lo que facilitaría el lavado de las bases, lo que a su vez se podría traducir como una posible causa de acidez. Por lo que se considera que se encuentra altamente relacionado con los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio y al método de fertilización actual e indican como debería ser su manejo en el futuro.

Los fertilizantes que tradicionalmente se han utilizado, así como los cultivos de la zona, juegan un papel importante en el proceso de acidificación del suelo. En el cuadro 34 se demuestra que los fertilizantes más utilizados son el Sulfato y Nitrato de Amonio, lo cual significa que estos poseen un efecto acidificante a largo plazo y no le han proporcionado al suelo otros elementos básicos para el proceso productivo; así como los cultivos tradicionales, que son los responsables del empobrecimiento de los suelos.

Cuadro 34. Fertilizantes y cultivos predominantes en los suelos de Cojutepeque.

CANTON	FERTILIZANTE	CULTIVOS DE LA ZONA	CODIGODE MUESTRAS TOMADAS
El Carmen	Sulfato de Amonio Nitrato de Amonio	Pepino Maíz Tomate Pipián	CJ-3, CJ-6, CJ-7, CJ-10, CJ-13, CJ-14
Veracruz	Sulfato de Amonio Nitrato de Amonio Urea	Maíz Pepino Frijol Tomate	CJ-1, CJ-5, CJ-12, CJ-16
Amatillo	Sulfato de Amonio Gallinaza	Tomate Maíz	CJ-4, CJ-9, CJ-15,
Soledad	Gallinaza Sulfato de Amonio Nitrato de Amonio	Pepino Maíz Frijol	CJ-2, CJ-8, CJ-11, CJ-17, CJ-18, CJ-19, CJ-20.

6.2.1. Relación de pH vrs. Materia Orgánica.

En la relación entre el pH y el porcentaje de materia orgánica, se pudo observar en cuadro 24 y figura 6, que todos los resultados obtenidos reportaron

niveles bajos de materia orgánica, siendo el menor de 0.69 % (muestra CJ-10) y el mayor de 1.99% (muestra CJ-20). Es posible que los bajos niveles de materia orgánica en estos suelos se deban al elevado contenido de arena. Es también importante destacar que se nota un pequeño aumento en el porcentaje de materia orgánica en aquellos suelos donde los niveles de acidez no son muy elevados o posiblemente donde se presenta una leve rotación de cultivos y donde los niveles de arena son menores.

6.2.2. Relación de pH vs. Fósforo.

En el cuadro 25 y figura 7 se puede apreciar que los resultados obtenidos de las 20 muestras analizadas se reportó, que el 100% de ellas poseen valores de fósforo (expresados en partes por millón), menores a 8 ppm, lo cual los ubica en un rango de disponibilidad de “muy bajo”. De los resultados obtenidos el valor más bajo es de 1 ppm y el valor mas alto es de 4 ppm.

6.2.3. Relación de pH vs. Potasio.

En el análisis del cuadro 26 y figura 8 se observa que, de las 20 muestras que se analizaron, 17 de ellas reportaron un rango de disponibilidad “medio” y las tres restantes (muestras CJ-1, CJ-2, CJ-7) se ubican en un rango de disponibilidad “bajo”, es importante destacar que estas muestras se sitúan en niveles de pH “muy fuertemente ácido”, además se nota una ligera tendencia a aumentar los niveles de potasio a medida que el pH comienza a tornarse neutro.

6.2.4. Relación de pH vrs. Calcio.

En la relación del Calcio y el pH en el cuadro 27 y figura 9 se puede observar que todas las muestras analizadas reportaron valores menores a 2.2meq/100g lo que nos indica que los suelos analizados poseen un rango de disponibilidad de calcio “muy bajo”. Los valores encontrados reportan un valor mínimo de 0.89 meq/100g (muestra CJ-9) y un valor máximo de 1.88 meq/100g (muestra CJ-20). En este caso también se puede observar la leve tendencia de incrementar los valores de disponibilidad de calcio a medida que los niveles de acidez disminuyen.

6.2.5. Relación de pH vrs. Magnesio.

En el caso del magnesio se muestra que el total de suelos analizados reportaron un rango de disponibilidad “muy bajo” teniendo como valor mínimo 0.19meq/100g (muestra CJ-3) y un máximo de 0.73meq/100g siguiendo siempre la tendencia a aumentar los valores de magnesio disponible a medida que el pH se va volviendo neutro. Ver cuadro 28 y figura 10

6.2.6. Relación de pH vrs. Cobre.

Aquí se reportó que el 100% de las muestras analizadas poseen un rango de disponibilidad de cobre “medio”, siendo el valor más alto de 0.31 ppm (muestra CJ-20) y el valor más bajo de 0.09 ppm (muestra CJ-4), el aumento en los valores de Cobre disponible incrementan a medida que el nivel de acidez disminuye. Ver cuadro 29 y figura 11

6.2.7. Relación de pH vrs. Hierro.

En este caso, el hierro tiene la particularidad de que se encuentra disponible en un rango de pH que van de extremadamente a moderadamente ácido, no obstante, los rangos de disponibilidad de hierro en todas las muestras analizadas son “bajos”, siendo el valor mínimo de 2.98 ppm (muestra CJ -20) y el valor máximo de 6.51 (muestra CJ-1). Además se nota una clara disminución de los valores de hierro a medida que el pH se vuelve neutro. Ver cuadro 30 y figura 12.

6.2.8. Relación de pH vrs. Manganeso.

En el caso del manganeso, en el cuadro 31 y figura 13, se puede observar que, de las 20 muestras analizadas únicamente 6 de ellas (muestras: CJ-2, CJ-3, CJ-5, CJ-6, CJ-7, CJ-10) mostraron un rango de disponibilidad “muy bajo”, el resto reportaron valores “bajos” de disponibilidad. Los valores obtenidos reportaron un valor mínimo de 0.33 ppm (muestra CJ-5) y un valor máximo de 2.68 ppm (muestra CJ-17), También se puede observar un incremento de manganeso a medida que el pH se vuelve neutro.

6.2.9. Relación de pH vrs. Acidez total (H + Al).

En el caso de la acidez total se reportaron datos que indican que ninguna de las muestras de suelo analizadas exceden a 1meq/100g, lo cual indica que no hay posibilidad de intoxicación de aluminio en estos suelos, los valores obtenidos

reportan un mínimo de 0.04 meq/100g (muestra CJ-20) y un máximo de 0.32 meq/100g (muestra CJ-1). Ver cuadro 32 y figura 14

6.2.10. Interpretación General de los Resultados Obtenidos.

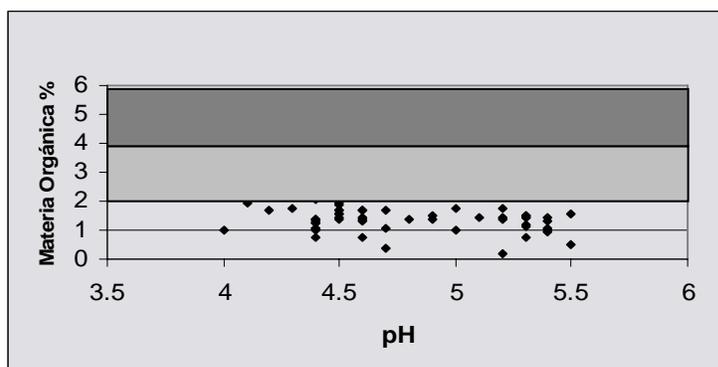
El análisis realizado en la presentación general de resultados (cuadro 33) permite afirmar que el problema de disminución en las cosechas podría no estar referido únicamente a la acidez de los suelos, sino también a características propias de estos, como es el alto porcentaje de arena que facilita el lavado de los nutrimentos del suelo. Además de ello, es importante hacer énfasis que en aquellas muestras de suelo en las cuales se determinó que se ha utilizado gallinaza como fertilizante (muestras: CJ-4, CJ-11, CJ-17, CJ-18, CJ-20), reportaron por lo general, los valores más altos de fósforo y de materia orgánica, así también de otros nutrimentos como lo son el calcio y el magnesio. Por otra parte se determinó que por lo general en suelos donde se practica el cultivo del tomate, se encontraron niveles más bajos de potasio (muestras: CJ-1, CJ-7, CJ-12). No se demostraron cambios importantes en la disponibilidad del Cobre, Hierro y Manganeso. La determinación de la Acidez Total (H + Al), no parece ser un factor relevante que indique pueda existir intoxicación por Aluminio en los suelos en estudio.

Además de ello, el desgaste continuo de los suelos debido a la falta de prácticas culturales adecuadas, podría ser también un factor importante que limite la capacidad de producción del suelo obteniendo de esta manera una disminución considerable en la calidad de las cosechas.

6.3. Presentación de cuadros y gráficos de la zona de Ciudad Arce.

Cuadro 35. Relación de pH vrs. Materia Orgánica en suelos de Ciudad Arce

Código	Textura	pH	Materia orgánica %	Código	Textura	pH	Materia orgánica %
CA-1	FCA	4.00	1.03	CA-31	FCA	4.60	1.41
CA-2	FC	4.10	1.96	CA-32	FA	4.70	0.37
CA-3	F	4.20	2.55	CA-33	FC	4.70	1.04
CA-4	FCA	4.20	1.68	CA-34	FC	4.70	1.68
CA-5	FCA	4.30	1.74	CA-35	FA	4.80	1.38
CA-6	FA	4.40	0.75	CA-36	FA	4.90	1.36
CA-7	FA	4.40	1.28	CA-37	FA	4.90	1.53
CA-8	FCA	4.40	2.04	CA-38	FA	5.00	0.98
CA-9	FCA	4.40	1.31	CA-39	FA	5.00	1.78
CA-10	FCA	4.40	1.05	CA-40	F	5.00	3.40
CA-11	FCA	4.40	0.98	CA-41	F	5.00	3.28
CA-12	FCA	4.40	1.36	CA-42	FA	5.10	1.41
CA-13	FCA	4.40	1.23	CA-43	FA	5.20	1.45
CA-14	FCA	4.40	1.08	CA-44	FA	5.20	1.36
CA-15	FCA	4.40	1.38	CA-45	AF	5.20	0.21
CA-16	FA	4.50	1.41	CA-46	FC	5.20	1.74
CA-17	FA	4.50	1.35	CA-47	FA	5.30	1.41
CA-18	FA	4.50	1.59	CA-48	FA	5.30	1.48
CA-19	FCA	4.50	1.96	CA-49	FA	5.30	0.72
CA-20	FCA	4.50	1.88	CA-50	FA	5.30	1.17
CA-21	FCA	4.50	1.71	CA-51	FA	5.30	1.53
CA-22	FCA	4.50	1.68	CA-52	FA	5.30	1.44
CA-23	FCA	4.50	1.59	CA-53	FA	5.30	1.13
CA-24	F	4.50	2.78	CA-54	FA	5.40	1.32
CA-25	FA	4.60	1.38	CA-55	FA	5.40	1.03
CA-26	FA	4.60	1.31	CA-56	FA	5.40	1.44
CA-27	FA	4.60	0.75	CA-57	FA	5.40	1.06
CA-28	FCA	4.60	1.71	CA-58	FA	5.40	0.96
CA-29	FCA	4.60	2.13	CA-59	AF	5.50	0.53
CA-30	FCA	4.60	1.68	CA-60	FA	5.50	1.59



Rango de disponibilidad.

Rangos	Categoría
< 2%	Bajo
2 - 4%	Medio
> 4%	Alto

Figura. 15. Relación de pH vrs. Materia Orgánica en suelos de Ciudad Arce.

Cuadro 36. Relación de pH vrs. Fósforo en suelos de Ciudad Arce.

Código	Textura	pH	P (ppm)	Código	Textura	pH	P (ppm)
CA-1	FCA	4.00	2	CA-31	FCA	4.60	1
CA-2	FC	4.10	1	CA-32	FA	4.70	1
CA-3	F	4.20	3	CA-33	FC	4.70	1
CA-4	FCA	4.20	1	CA-34	FC	4.70	1
CA-5	FCA	4.30	3	CA-35	FA	4.80	2
CA-6	FA	4.40	2	CA-36	FA	4.90	2
CA-7	FA	4.40	4	CA-37	FA	4.90	3
CA-8	FCA	4.40	5	CA-38	FA	5.00	1
CA-9	FCA	4.40	1	CA-39	FA	5.00	2
CA-10	FCA	4.40	4	CA-40	F	5.00	8
CA-11	FCA	4.40	2	CA-41	F	5.00	5
CA-12	FCA	4.40	3	CA-42	FA	5.10	1
CA-13	FCA	4.40	5	CA-43	FA	5.20	2
CA-14	FCA	4.40	3	CA-44	FA	5.20	2
CA-15	FCA	4.40	4	CA-45	AF	5.20	1
CA-16	FA	4.50	2	CA-46	FC	5.20	2
CA-17	FA	4.50	5	CA-47	FA	5.30	3
CA-18	FA	4.50	1	CA-48	FA	5.30	2
CA-19	FCA	4.50	4	CA-49	FA	5.30	1
CA-20	FCA	4.50	5	CA-50	FA	5.30	6
CA-21	FCA	4.50	2	CA-51	FA	5.30	3
CA-22	FCA	4.50	3	CA-52	FA	5.30	5
CA-23	FCA	4.50	4	CA-53	FA	5.30	2
CA-24	F	4.50	7	CA-54	FA	5.40	2
CA-25	FA	4.60	4	CA-55	FA	5.40	3
CA-26	FA	4.60	4	CA-56	FA	5.40	1
CA-27	FA	4.60	1	CA-57	FA	5.40	2
CA-28	FCA	4.60	2	CA-58	FA	5.40	1
CA-29	FCA	4.60	4	CA-59	AF	5.50	1
CA-30	FCA	4.60	2	CA-60	FA	5.50	1

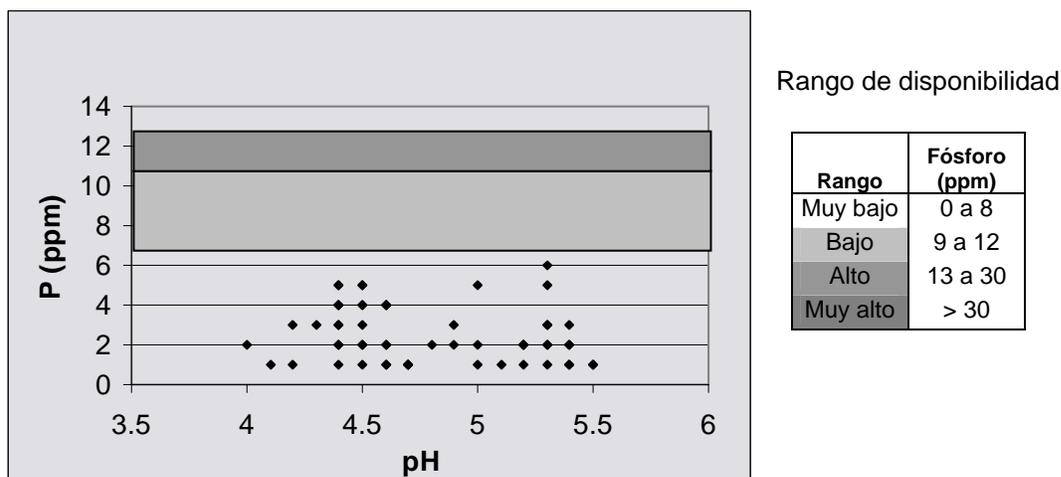


Figura 16. Relación de pH vrs. Fósforo en suelos de Ciudad Arce.

Cuadro 37. Relación de pH vrs. Potasio en suelos de Ciudad Arce.

Código	Textura	pH	K (ppm)	Código	Textura	pH	K (ppm)
CA-1	FCA	4.00	11	CA-31	FCA	4.60	16
CA-2	FC	4.10	16	CA-32	FA	4.70	27
CA-3	F	4.20	12	CA-33	FC	4.70	15
CA-4	FCA	4.20	18	CA-34	FC	4.70	23
CA-5	FCA	4.30	15	CA-35	FA	4.80	17
CA-6	FA	4.40	12	CA-36	FA	4.90	23
CA-7	FA	4.40	19	CA-37	FA	4.90	31
CA-8	FCA	4.40	28	CA-38	FA	5.00	53
CA-9	FCA	4.40	14	CA-39	FA	5.00	46
CA-10	FCA	4.40	22	CA-40	F	5.00	28
CA-11	FCA	4.40	19	CA-41	F	5.00	21
CA-12	FCA	4.40	24	CA-42	FA	5.10	22
CA-13	FCA	4.40	16	CA-43	FA	5.20	27
CA-14	FCA	4.40	27	CA-44	FA	5.20	26
CA-15	FCA	4.40	24	CA-45	AF	5.20	31
CA-16	FA	4.50	18	CA-46	FC	5.20	21
CA-17	FA	4.50	16	CA-47	FA	5.30	42
CA-18	FA	4.50	21	CA-48	FA	5.30	34
CA-19	FCA	4.50	12	CA-49	FA	5.30	12
CA-20	FCA	4.50	19	CA-50	FA	5.30	38
CA-21	FCA	4.50	25	CA-51	FA	5.30	21
CA-22	FCA	4.50	45	CA-52	FA	5.30	19
CA-23	FCA	4.50	27	CA-53	FA	5.30	15
CA-24	F	4.50	26	CA-54	FA	5.40	29
CA-25	FA	4.60	25	CA-55	FA	5.40	28
CA-26	FA	4.60	18	CA-56	FA	5.40	25
CA-27	FA	4.60	29	CA-57	FA	5.40	14
CA-28	FCA	4.60	23	CA-58	FA	5.40	32
CA-29	FCA	4.60	22	CA-59	AF	5.50	23
CA-30	FCA	4.60	48	CA-60	FA	5.50	21

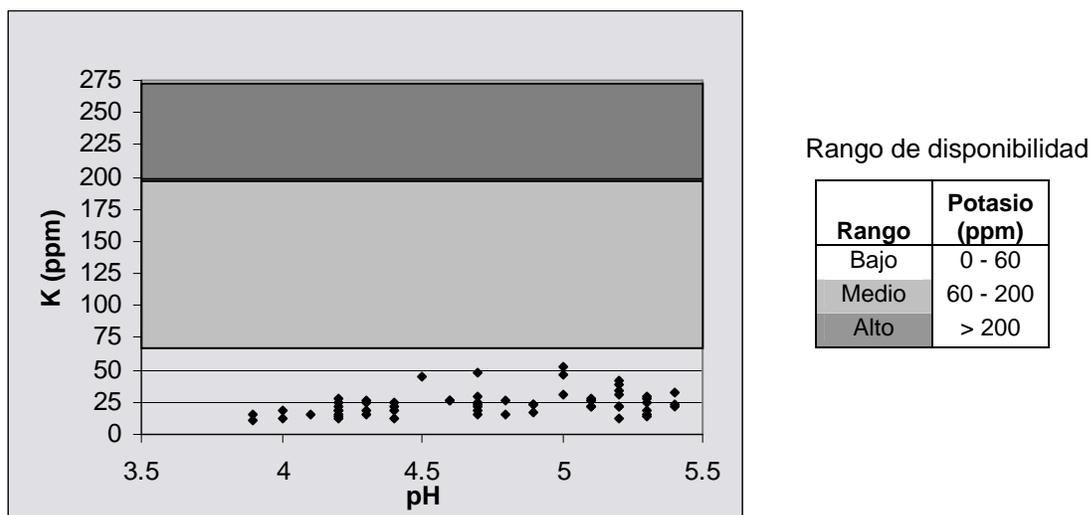


Figura 17. Relación de pH vrs. Potasio en suelos de Ciudad Arce.

Cuadro 38. Relación de pH vrs. Calcio en suelos de Ciudad Arce.

Código	Textura	pH	Calcio meq/100g	Código	Textura	pH	Calcio meq/100g
CA-1	FCA	4.00	1.03	CA-31	FCA	4.60	1.19
CA-2	FC	4.10	1.31	CA-32	FA	4.70	0.42
CA-3	F	4.20	1.76	CA-33	FC	4.70	0.78
CA-4	FCA	4.20	1.02	CA-34	FC	4.70	1.56
CA-5	FCA	4.30	1.23	CA-35	FA	4.80	0.98
CA-6	FA	4.40	0.85	CA-36	FA	4.90	1.09
CA-7	FA	4.40	1.08	CA-37	FA	4.90	1.22
CA-8	FCA	4.40	1.49	CA-38	FA	5.00	0.83
CA-9	FCA	4.40	1.52	CA-39	FA	5.00	1.48
CA-10	FCA	4.40	1.31	CA-40	F	5.00	1.97
CA-11	FCA	4.40	0.56	CA-41	F	5.00	2.15
CA-12	FCA	4.40	1.53	CA-42	FA	5.10	1.36
CA-13	FCA	4.40	1.18	CA-43	FA	5.20	1.28
CA-14	FCA	4.40	1.15	CA-44	FA	5.20	1.49
CA-15	FCA	4.40	1.26	CA-45	AF	5.20	0.68
CA-16	FA	4.50	0.97	CA-46	FC	5.20	1.62
CA-17	FA	4.50	1.03	CA-47	FA	5.30	1.27
CA-18	FA	4.50	0.92	CA-48	FA	5.30	1.40
CA-19	FCA	4.50	1.49	CA-49	FA	5.30	1.14
CA-20	FCA	4.50	1.58	CA-50	FA	5.30	1.27
CA-21	FCA	4.50	0.87	CA-51	FA	5.30	1.05
CA-22	FCA	4.50	1.33	CA-52	FA	5.30	1.34
CA-23	FCA	4.50	1.42	CA-53	FA	5.30	0.87
CA-24	F	4.50	2.04	CA-54	FA	5.40	1.51
CA-25	FA	4.60	1.22	CA-55	FA	5.40	1.38
CA-26	FA	4.60	1.03	CA-56	FA	5.40	1.63
CA-27	FA	4.60	0.69	CA-57	FA	5.40	1.67
CA-28	FCA	4.60	1.19	CA-58	FA	5.40	0.94
CA-29	FCA	4.60	1.68	CA-59	AF	5.50	0.56
CA-30	FCA	4.60	1.06	CA-60	FA	5.50	1.23

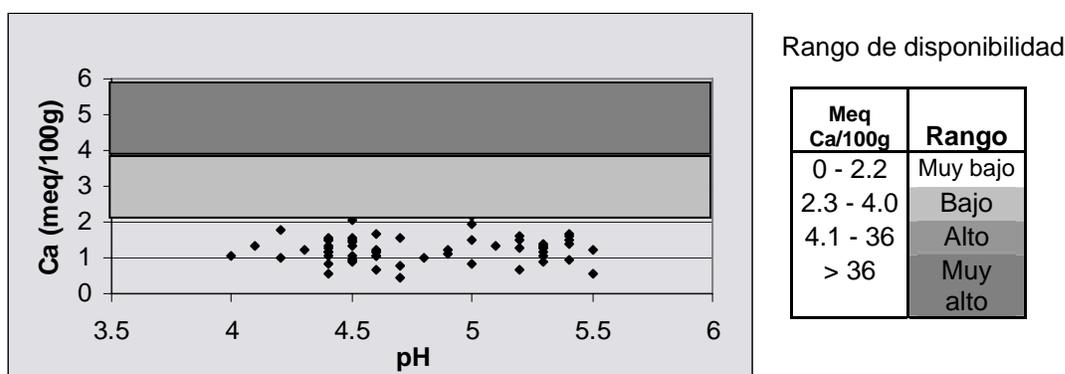


Figura 18. Relación de pH vrs. Calcio en suelos de Ciudad Arce.

Cuadro 39. Relación de pH vrs. Magnesio en suelos de Ciudad Arce.

Código	Textura	pH	Magnesio Meq/100g	Código	Textura	pH	Magnesio Meq/100g
CA-1	FCA	4.00	0.55	CA-31	FCA	4.60	0.46
CA-2	FC	4.10	0.64	CA-32	FA	4.70	0.13
CA-3	F	4.20	0.74	CA-33	FC	4.70	0.39
CA-4	FCA	4.20	0.53	CA-34	FC	4.70	0.65
CA-5	FCA	4.30	0.59	CA-35	FA	4.80	0.48
CA-6	FA	4.40	0.36	CA-36	FA	4.90	0.41
CA-7	FA	4.40	0.76	CA-37	FA	4.90	0.51
CA-8	FCA	4.40	0.79	CA-38	FA	5.00	0.29
CA-9	FCA	4.40	0.22	CA-39	FA	5.00	0.43
CA-10	FCA	4.40	0.21	CA-40	F	5.00	1.13
CA-11	FCA	4.40	0.27	CA-41	F	5.00	0.97
CA-12	FCA	4.40	0.36	CA-42	FA	5.10	0.43
CA-13	FCA	4.40	0.57	CA-43	FA	5.20	0.49
CA-14	FCA	4.40	0.60	CA-44	FA	5.20	0.46
CA-15	FCA	4.40	0.68	CA-45	AF	5.20	0.14
CA-16	FA	4.50	0.41	CA-46	FC	5.20	0.53
CA-17	FA	4.50	0.47	CA-47	FA	5.30	0.70
CA-18	FA	4.50	0.38	CA-48	FA	5.30	0.48
CA-19	FCA	4.50	0.72	CA-49	FA	5.30	0.15
CA-20	FCA	4.50	0.79	CA-50	FA	5.30	0.54
CA-21	FCA	4.50	0.68	CA-51	FA	5.30	0.68
CA-22	FCA	4.50	0.44	CA-52	FA	5.30	0.70
CA-23	FCA	4.50	0.41	CA-53	FA	5.30	0.59
CA-24	F	4.50	0.82	CA-54	FA	5.40	0.61
CA-25	FA	4.60	0.55	CA-55	FA	5.40	0.46
CA-26	FA	4.60	0.61	CA-56	FA	5.40	0.52
CA-27	FA	4.60	0.28	CA-57	FA	5.40	0.58
CA-28	FCA	4.60	0.67	CA-58	FA	5.40	0.36
CA-29	FCA	4.60	0.72	CA-59	AF	5.50	0.23
CA-30	FCA	4.60	0.59	CA-60	FA	5.50	0.64

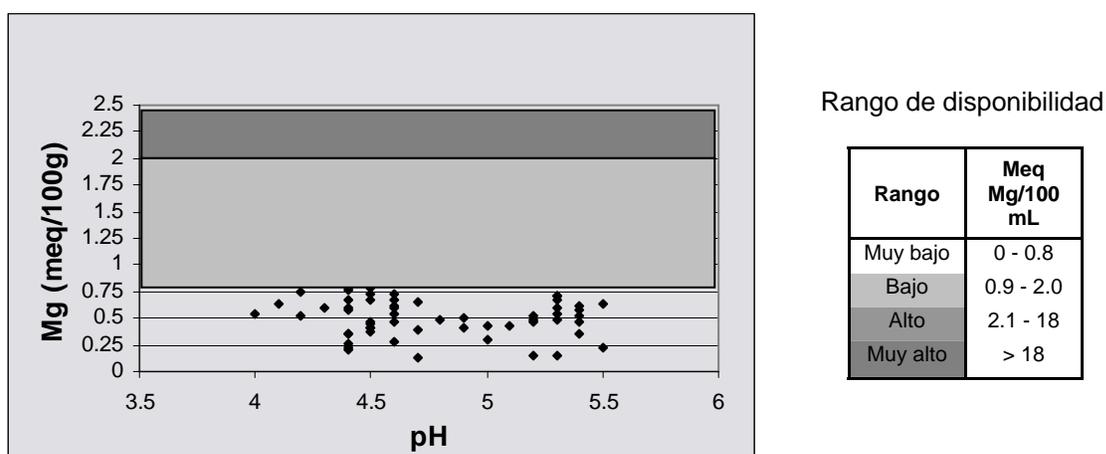


Figura 19. Relación de pH vrs. Magnesio en suelos de Ciudad Arce.

Cuadro 40. Relación de pH vrs. Cobre en suelos de Ciudad Arce.

Código	Textura	pH	Cobre (ppm)	Código	Textura	pH	Cobre (ppm)
CA-1	FCA	4.00	0.16	CA-31	FCA	4.60	0.04
CA-2	FC	4.10	0.18	CA-32	FA	4.70	0.08
CA-3	F	4.20	0.21	CA-33	FC	4.70	0.05
CA-4	FCA	4.20	0.09	CA-34	FC	4.70	0.12
CA-5	FCA	4.30	0.17	CA-35	FA	4.80	0.18
CA-6	FA	4.40	0.15	CA-36	FA	4.90	0.19
CA-7	FA	4.40	0.25	CA-37	FA	4.90	0.15
CA-8	FCA	4.40	0.32	CA-38	FA	5.00	0.21
CA-9	FCA	4.40	0.26	CA-39	FA	5.00	0.24
CA-10	FCA	4.40	0.16	CA-40	F	5.00	0.86
CA-11	FCA	4.40	0.19	CA-41	F	5.00	0.54
CA-12	FCA	4.40	0.05	CA-42	FA	5.10	0.22
CA-13	FCA	4.40	0.08	CA-43	FA	5.20	0.26
CA-14	FCA	4.40	0.19	CA-44	FA	5.20	0.19
CA-15	FCA	4.40	0.11	CA-45	AF	5.20	0.09
CA-16	FA	4.50	0.17	CA-46	FC	5.20	0.28
CA-17	FA	4.50	0.21	CA-47	FA	5.30	0.24
CA-18	FA	4.50	0.06	CA-48	FA	5.30	0.22
CA-19	FCA	4.50	0.22	CA-49	FA	5.30	0.27
CA-20	FCA	4.50	0.19	CA-50	FA	5.30	0.34
CA-21	FCA	4.50	0.09	CA-51	FA	5.30	0.29
CA-22	FCA	4.50	0.29	CA-52	FA	5.30	0.32
CA-23	FCA	4.50	0.15	CA-53	FA	5.30	0.42
CA-24	F	4.50	0.09	CA-54	FA	5.40	0.34
CA-25	FA	4.60	0.14	CA-55	FA	5.40	0.31
CA-26	FA	4.60	0.06	CA-56	FA	5.40	0.37
CA-27	FA	4.60	0.12	CA-57	FA	5.40	0.32
CA-28	FCA	4.60	0.13	CA-58	FA	5.40	0.41
CA-29	FCA	4.60	0.16	CA-59	AF	5.50	0.09
CA-30	FCA	4.60	0.36	CA-60	FA	5.50	0.38

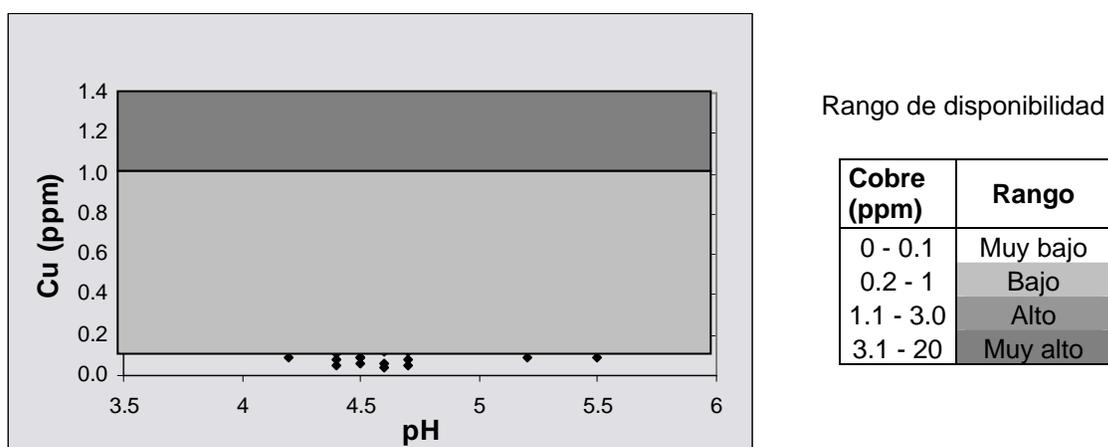
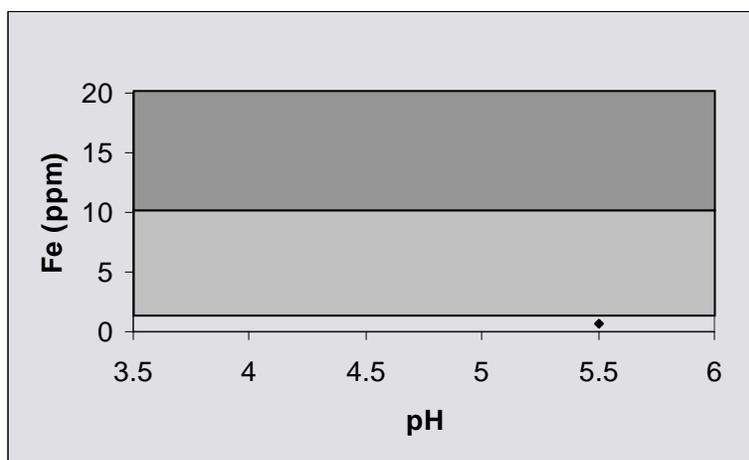


Figura 20. Relación de pH vrs. Cobre en suelos de Ciudad Arce.

Cuadro 41. Relación de pH vs. Hierro en suelos de Ciudad Arce.

Código	Textura	pH	Hierro (ppm)	Código	Textura	pH	Hierro (ppm)
CA-1	FCA	4.00	14.61	CA-31	FCA	4.60	8.46
CA-2	FC	4.10	6.26	CA-32	FA	4.70	5.23
CA-3	F	4.20	12.13	CA-33	FC	4.70	7.12
CA-4	FCA	4.20	9.03	CA-34	FC	4.70	5.41
CA-5	FCA	4.30	11.98	CA-35	FA	4.80	4.16
CA-6	FA	4.40	5.26	CA-36	FA	4.90	4.35
CA-7	FA	4.40	5.45	CA-37	FA	4.90	5.32
CA-8	FCA	4.40	9.73	CA-38	FA	5.00	5.21
CA-9	FCA	4.40	10.85	CA-39	FA	5.00	4.41
CA-10	FCA	4.40	11.06	CA-40	F	5.00	18.26
CA-11	FCA	4.40	10.14	CA-41	F	5.00	13.54
CA-12	FCA	4.40	7.51	CA-42	FA	5.10	4.83
CA-13	FCA	4.40	9.30	CA-43	FA	5.20	6.39
CA-14	FCA	4.40	10.36	CA-44	FA	5.20	5.78
CA-15	FCA	4.40	11.62	CA-45	AF	5.20	1.95
CA-16	FA	4.50	6.24	CA-46	FC	5.20	4.35
CA-17	FA	4.50	5.80	CA-47	FA	5.30	3.99
CA-18	FA	4.50	5.92	CA-48	FA	5.30	2.35
CA-19	FCA	4.50	8.32	CA-49	FA	5.30	3.44
CA-20	FCA	4.50	10.41	CA-50	FA	5.30	3.85
CA-21	FCA	4.50	9.10	CA-51	FA	5.30	3.31
CA-22	FCA	4.50	11.45	CA-52	FA	5.30	2.54
CA-23	FCA	4.50	10.51	CA-53	FA	5.30	4.71
CA-24	F	4.50	13.16	CA-54	FA	5.40	3.34
CA-25	FA	4.60	6.06	CA-55	FA	5.40	3.83
CA-26	FA	4.60	5.81	CA-56	FA	5.40	2.51
CA-27	FA	4.60	4.23	CA-57	FA	5.40	3.77
CA-28	FCA	4.60	9.68	CA-58	FA	5.40	3.41
CA-29	FCA	4.60	7.20	CA-59	AF	5.50	0.62
CA-30	FCA	4.60	8.52	CA-60	FA	5.50	2.73



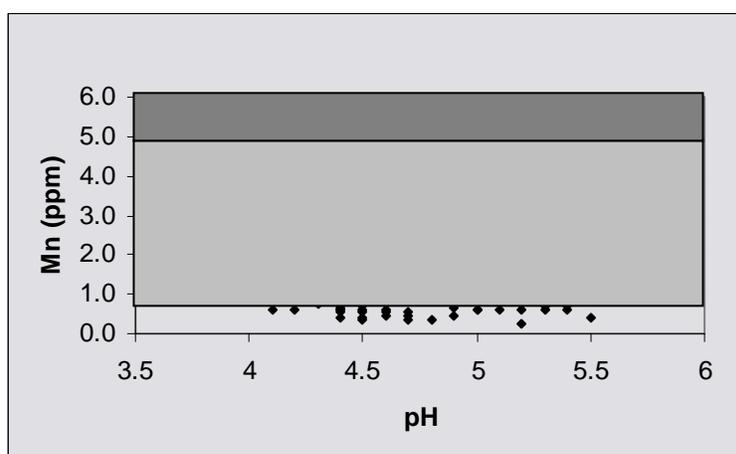
Rango de disponibilidad

Hierro (ppm)	Rango
0 a 1	Muy bajo
2 a 10	Bajo
11 a 20	Alto
21 - 80	Muy alto

Figura 21. Relación de pH vs. Hierro en suelos de Ciudad Arce.

Cuadro 42. Relación de pH vs. Manganeso en suelos de Ciudad Arce.

Código	Textura	pH	Mn (ppm)	Código	Textura	pH	Mn (ppm)
CA-1	FCA	4.00	0.87	CA-31	FCA	4.60	0.79
CA-2	FC	4.10	0.62	CA-32	FA	4.70	0.34
CA-3	F	4.20	1.23	CA-33	FC	4.70	0.44
CA-4	FCA	4.20	0.62	CA-34	FC	4.70	0.53
CA-5	FCA	4.30	0.78	CA-35	FA	4.80	0.35
CA-6	FA	4.40	0.42	CA-36	FA	4.90	0.44
CA-7	FA	4.40	0.55	CA-37	FA	4.90	0.65
CA-8	FCA	4.40	0.76	CA-38	FA	5.00	0.63
CA-9	FCA	4.40	0.88	CA-39	FA	5.00	0.59
CA-10	FCA	4.40	0.74	CA-40	F	5.00	2.03
CA-11	FCA	4.40	0.82	CA-41	F	5.00	1.64
CA-12	FCA	4.40	0.65	CA-42	FA	5.10	0.58
CA-13	FCA	4.40	0.75	CA-43	FA	5.20	0.76
CA-14	FCA	4.40	0.61	CA-44	FA	5.20	0.62
CA-15	FCA	4.40	0.59	CA-45	AF	5.20	0.26
CA-16	FA	4.50	0.35	CA-46	FC	5.20	0.77
CA-17	FA	4.50	0.42	CA-47	FA	5.30	0.69
CA-18	FA	4.50	0.55	CA-48	FA	5.30	0.58
CA-19	FCA	4.50	0.75	CA-49	FA	5.30	0.87
CA-20	FCA	4.50	0.86	CA-50	FA	5.30	0.93
CA-21	FCA	4.50	0.72	CA-51	FA	5.30	0.72
CA-22	FCA	4.50	0.63	CA-52	FA	5.30	0.83
CA-23	FCA	4.50	0.87	CA-53	FA	5.30	0.73
CA-24	F	4.50	1.36	CA-54	FA	5.40	0.77
CA-25	FA	4.60	0.45	CA-55	FA	5.40	0.63
CA-26	FA	4.60	0.57	CA-56	FA	5.40	0.69
CA-27	FA	4.60	0.62	CA-57	FA	5.40	0.88
CA-28	FCA	4.60	0.83	CA-58	FA	5.40	0.83
CA-29	FCA	4.60	0.76	CA-59	AF	5.50	0.42
CA-30	FCA	4.60	0.88	CA-60	FA	5.50	0.94



Rango de disponibilidad

Mn (ppm)	Rango
0 - 0.7	Muy bajo
0.8 - 5	Bajo
5.1 - 10	Alto
11 - 100	Muy alto

Figura 22. Relación de pH vrs. Manganeso en suelos de Ciudad Arce.

Cuadro No. 43. Relación de pH vs. Acidez Total en suelos de Ciudad Arce.

Código	Textura	pH	H + AL	Código	Textura	pH	H + AL
CA-1	FCA	4.00	0.79	CA-31	FCA	4.60	1.01
CA-2	FC	4.10	1.68	CA-32	FA	4.70	0.48
CA-3	F	4.20	1.78	CA-33	FC	4.70	0.33
CA-4	FCA	4.20	0.75	CA-34	FC	4.70	0.36
CA-5	FCA	4.30	0.66	CA-35	FA	4.80	0.52
CA-6	FA	4.40	0.26	CA-36	FA	4.90	0.25
CA-7	FA	4.40	0.31	CA-37	FA	4.90	0.45
CA-8	FCA	4.40	0.53	CA-38	FA	5.00	0.10
CA-9	FCA	4.40	0.64	CA-39	FA	5.00	0.16
CA-10	FCA	4.40	0.72	CA-40	F	5.00	0.48
CA-11	FCA	4.40	0.77	CA-41	F	5.00	0.72
CA-12	FCA	4.40	0.82	CA-42	FA	5.10	0.34
CA-13	FCA	4.40	1.16	CA-43	FA	5.20	0.09
CA-14	FCA	4.40	1.28	CA-44	FA	5.20	0.18
CA-15	FCA	4.40	0.94	CA-45	AF	5.20	0.41
CA-16	FA	4.50	0.26	CA-46	FC	5.20	0.40
CA-17	FA	4.50	0.33	CA-47	FA	5.30	0.27
CA-18	FA	4.50	0.22	CA-48	FA	5.30	0.07
CA-19	FCA	4.50	0.76	CA-49	FA	5.30	0.34
CA-20	FCA	4.50	0.67	CA-50	FA	5.30	0.06
CA-21	FCA	4.50	1.03	CA-51	FA	5.30	0.25
CA-22	FCA	4.50	0.55	CA-52	FA	5.30	0.24
CA-23	FCA	4.50	0.50	CA-53	FA	5.30	0.08
CA-24	F	4.50	0.95	CA-54	FA	5.40	0.06
CA-25	FA	4.60	1.18	CA-55	FA	5.40	0.06
CA-26	FA	4.60	0.26	CA-56	FA	5.40	0.05
CA-27	FA	4.60	0.29	CA-57	FA	5.40	0.11
CA-28	FCA	4.60	0.85	CA-58	FA	5.40	0.27
CA-29	FCA	4.60	0.39	CA-59	AF	5.50	0.06
CA-30	FCA	4.60	0.25	CA-60	FA	5.50	0.06

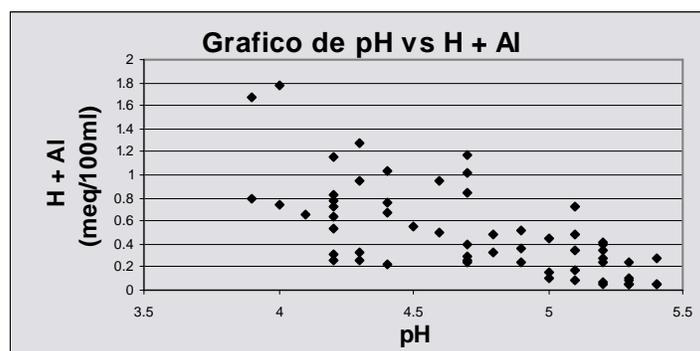


Figura. 23. Relación de pH vs. Acidez Total en suelos de Ciudad Arce.

NOTA: No se cuentan con rangos sobre la acidez total (H + Al), ya que se considera que únicamente valores arriba de 1meq/100g podrían presentar toxicidad con Aluminio.

Código	Textura	pH	Materia orgánica %	Fósforo (ppm)	Potasio (ppm)	Calcio meq/100g	Magnesio Meq/100g	Cobre (ppm)	Hierro (ppm)	Manganeso (ppm)	H + AL meq/100g
CA-1	FCA	4.00	1.03	2	11	1.03	0.55	0.16	14.61	0.87	0.79
CA-2	FC	4.10	1.96	1	16	1.31	0.64	0.18	6.26	0.62	1.68
CA-3	F	4.20	2.55	3	12	1.76	0.74	0.21	12.13	1.23	1.78
CA-4	FCA	4.20	1.68	1	18	1.02	0.53	0.09	9.03	0.62	0.75
CA-5	FCA	4.30	1.74	3	15	1.23	0.59	0.17	11.98	0.78	0.66
CA-6	FA	4.40	0.75	2	12	0.85	0.36	0.15	5.26	0.42	0.26
CA-7	FA	4.40	1.28	4	19	1.08	0.76	0.25	5.45	0.55	0.31
CA-8	FCA	4.40	2.04	5	28	1.49	0.79	0.32	9.73	0.76	0.53
CA-9	FCA	4.40	1.31	1	14	1.52	0.22	0.26	10.85	0.88	0.64
CA-10	FCA	4.40	1.05	4	22	1.31	0.21	0.16	11.06	0.74	0.72
CA-11	FCA	4.40	0.98	2	19	0.56	0.27	0.19	10.14	0.82	0.77
CA-12	FCA	4.40	1.36	3	24	1.53	0.36	0.05	7.51	0.65	0.82
CA-13	FCA	4.40	1.23	5	16	1.18	0.57	0.08	9.30	0.75	1.16
CA-14	FCA	4.40	1.08	3	27	1.15	0.60	0.19	10.36	0.61	1.28
CA-15	FCA	4.40	1.38	4	24	1.26	0.68	0.11	11.62	0.59	0.94
CA-16	FA	4.50	1.41	2	18	0.97	0.41	0.17	6.24	0.35	0.26
CA-17	FA	4.50	1.35	5	16	1.03	0.47	0.21	5.80	0.42	0.33
CA-18	FA	4.50	1.59	1	21	0.92	0.38	0.06	5.92	0.55	0.22
CA-19	FCA	4.50	1.96	4	12	1.49	0.72	0.22	8.32	0.75	0.76
CA-20	FCA	4.50	1.88	5	19	1.58	0.79	0.19	10.41	0.86	0.67
CA-21	FCA	4.50	1.71	2	25	0.87	0.68	0.09	9.10	0.72	1.03
CA-22	FCA	4.50	1.68	3	45	1.33	0.44	0.29	11.45	0.63	0.55
CA-23	FCA	4.50	1.59	4	27	1.42	0.41	0.15	10.51	0.87	0.50
CA-24	F	4.50	2.78	7	26	2.04	0.82	0.09	13.16	1.36	0.95
CA-25	FA	4.60	1.38	4	25	1.22	0.55	0.14	6.06	0.45	1.18
CA-26	FA	4.60	1.31	4	18	1.03	0.61	0.06	5.81	0.57	0.26
CA-27	FA	4.60	0.75	1	29	0.69	0.28	0.12	4.23	0.62	0.29
CA-28	FCA	4.60	1.71	2	23	1.19	0.67	0.13	9.68	0.83	0.85
CA-29	FCA	4.60	2.13	4	22	1.68	0.72	0.16	7.20	0.76	0.39
CA-30	FCA	4.60	1.68	2	48	1.06	0.59	0.36	8.52	0.88	0.25

Cuadro 44. Cuadro general de resultados de la zona de Ciudad Arce.

Código	Textura	pH	Materia orgánica %	Fósforo (ppm)	Potasio (ppm)	Calcio meq/100g	Magnesio Meq/100g	Cobre (ppm)	Hierro (ppm)	Manganeso (ppm)	H + AL meq/100g
CA-31	FCA	4.60	1.41	1	16	1.19	0.46	0.04	8.46	0.79	1.01
CA-32	FA	4.70	0.37	1	27	0.42	0.13	0.08	5.23	0.34	0.48
CA-33	FC	4.70	1.04	1	15	0.78	0.39	0.05	7.12	0.44	0.33
CA-34	FC	4.70	1.68	1	23	1.56	0.65	0.12	5.41	0.53	0.36
CA-35	FA	4.80	1.38	2	17	0.98	0.48	0.18	4.16	0.35	0.52
CA-36	FA	4.90	1.36	2	23	1.09	0.41	0.19	4.35	0.44	0.25
CA-37	FA	4.90	1.53	3	31	1.22	0.51	0.15	5.32	0.65	0.45
CA-38	FA	5.00	0.98	1	53	0.83	0.29	0.21	5.21	0.63	0.10
CA-39	FA	5.00	1.78	2	46	1.48	0.43	0.24	4.41	0.59	0.16
CA-40	F	5.00	3.40	8	28	1.97	1.13	0.86	18.26	2.03	0.48
CA-41	F	5.00	3.28	5	21	2.15	0.97	0.54	13.54	1.64	0.72
CA-42	FA	5.10	1.41	1	22	1.36	0.43	0.22	4.83	0.58	0.34
CA-43	FA	5.20	1.45	2	27	1.28	0.49	0.26	6.39	0.76	0.09
CA-44	FA	5.20	1.36	2	26	1.49	0.46	0.19	5.78	0.62	0.18
CA-45	AF	5.20	0.21	1	31	0.68	0.14	0.09	1.95	0.26	0.41
CA-46	FC	5.20	1.74	2	21	1.62	0.53	0.28	4.35	0.77	0.40
CA-47	FA	5.30	1.41	3	42	1.27	0.70	0.24	3.99	0.69	0.27
CA-48	FA	5.30	1.48	2	34	1.40	0.48	0.22	2.35	0.58	0.07
CA-49	FA	5.30	0.72	1	12	1.14	0.15	0.27	3.44	0.87	0.34
CA-50	FA	5.30	1.17	6	38	1.27	0.54	0.34	3.85	0.93	0.06
CA-51	FA	5.30	1.53	3	21	1.05	0.68	0.29	3.31	0.72	0.25
CA-52	FA	5.30	1.44	5	19	1.34	0.70	0.32	2.54	0.83	0.24
CA-53	FA	5.30	1.13	2	15	0.87	0.59	0.42	4.71	0.73	0.08
CA-54	FA	5.40	1.32	2	29	1.51	0.61	0.34	3.34	0.77	0.06
CA-55	FA	5.40	1.03	3	28	1.38	0.46	0.31	3.83	0.63	0.06
CA-56	FA	5.40	1.44	1	25	1.63	0.52	0.37	2.51	0.69	0.05
CA-57	FA	5.40	1.06	2	14	1.67	0.58	0.32	3.77	0.88	0.11
CA-58	FA	5.40	0.96	1	32	0.94	0.36	0.41	3.41	0.83	0.27
CA-59	AF	5.50	0.53	1	23	0.56	0.23	0.09	0.62	0.42	0.06
CA-60	FA	5.50	1.59	1	21	1.23	0.64	0.38	2.73	0.94	0.06

Continuación cuadro 44.

6.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS EN SUELOS DE LA ZONA DE CIUDAD ARCE.

En el municipio de Ciudad Arce se analizaron un total de 60 muestras, en las que se obtuvieron valores de pH que van desde 4.00, como mínimo, hasta un valor máximo de 5.50. Los valores de pH encontrados ubican a estos suelos en un rango de “Extremadamente a Moderadamente ácidos”.

En cuanto a las texturas de los suelos del municipio de Ciudad Arce, se encontraron una gran variedad de ellas, y van desde suelos “franco-arcillosos” hasta suelos con un alto contenido de arena (Arena - Franca). Los resultados obtenidos en los análisis realizados para la cuantificación de los elementos en estudio reportaron una gran diversidad de los valores, esto se debe tanto a las condiciones físicas (textura) y también a las condiciones químicas (pH) propias del suelo. Además de ello es también importante conocer el tipo de fertilización y los tipos de cultivos que se ha venido realizando en estos suelos, de esta manera se facilitaría llevar a cabo acciones correctivas que permitan mejorar la producción en estos lugares.

En el cuadro 45 se muestran los fertilizantes y cultivos predominantes de esta zona.

Cuadro 45. Fertilizantes y cultivos predominantes en los suelos de Ciudad Arce.

CANTON	FERTILIZANTE	CULTIVOS DE LA ZONA	CODIGODE MUESTRAS TOMADAS
Pitichorro	Sulfato de Amonio Nitrato de Amonio	Maíz Frijol	CA-4, CA-7, CA-8, CA-12, CA-15, CA-16, CA-23, CA-44, CA-52.
La Joya	Sulfato de Amonio Urea	Maíz Frijol	CA-2, CA-10, CA-14, CA-18, CA-19, CA-22, CA-28, CA-30, CA-37, CA-39, CA-43, CA-48, CA-55, CA-57, CA-58, CA-60
El Tinteral	Sulfato de Amonio Nitrato de Amonio	Maíz Frijol	CA-6, CA-11, CA-21, CA-25, CA-29, CA-36, CA-41, CA-46, CA-56
Zapotitán	Sulfato de amonio Nitrato de Amonio Urea	Maíz Frijol	CA-1, CA-9, CA-17, CA- 24, CA-32, CA-35, CA- 51, CA-53
Nueva Encarnación	Sulfato de Amonio Formula NPK (15-15-15) Urea	Tomate Pepino Chán	CA-13, CA-20, CA-31, CA-34, CA-45, CA-49, CA-50, CA-54, CA-59
Las Cruces	Formula NPK (16-20-0) Urea Sulfato de Amonio	Pipián Pepino Loroco	CA-3, CA-5, CA-26, CA- 27 , CA-33, CA-38, CA- 40,CA-42, CA-47

6.4.1. Relación de pH vrs. Materia Orgánica.

Según muestran los resultados del cuadro 35 y figura 15, los valores encontrados son muy variables obteniéndose un valor mínimo de 0.21% (muestra CA-45) que corresponde al suelo con mayor contenido de arena, y una valor máximo de 3.40% (muestra CA-40) que corresponde al suelo con textura franca, lo que indica que existe relación entre los suelos francos y el contenido de materia orgánica. Es importante señalar que las muestras que reportan una textura franca alcanzan rangos de disponibilidad “medio”, por el contrario los valores más bajos se encuentran en aquellos suelos donde predomina el contenido de arena.

6.4.2. Relación de pH vrs. Fósforo.

En el caso de el fósforo se puede observar en el cuadro 36 y la figura 16, que los valores aquí encontrados van desde 1 ppm como mínimo y un valor máximo de 8 ppm (muestra CA - 40). Cabe mencionar que no se observa cambios importantes con respecto a incremento en el pH; sin embargo, se nota un aumento en el contenido de fósforo en aquellos suelos francos y franco-arcillo-arenosos, no así en suelos donde los porcentajes de arena son altos (Arena-Franca y Franco-Arenosos), no obstante todas las muestras reportaron rangos de disponibilidad de fósforo: bajo.

6.4.3. Relación de pH vrs. Potasio.

En la relación entre el potasio y el pH observamos en el cuadro 37 y figura 17 que el 100% de las muestras analizadas reportan un rango de disponibilidad

“bajo”, reportándose un valor máximo de 53 ppm (muestra CA-38) y un valor mínimo de 11 ppm (muestra CA-1), la disponibilidad de potasio presenta ningún aumento a medida que el pH aumenta,

6.4.4. Relación de pH vrs. Calcio.

En el cuadro 38 y en la figura 18 se muestra que los valores de Calcio se ubican en un rango de disponibilidad de “muy bajo”, se encontró un valor máximo de 2.15 meq/100g en la muestra CA-41 y un valor mínimo de 0.42 meq/100g en la muestra CA-32. No se observó diferencias notables en el aumento de calcio a medida que el pH se volvía neutro, sin embargo los valores mas altos de Calcio corresponden a las muestras que poseen una textura “franca”.

6.4.5. Relación de pH vrs. Magnesio.

De acuerdo con los resultados presentados en el cuadro 39 y la figura 19 se puede observar que únicamente 2 (muestras CA-40 y CA-41) de las 60 muestras analizadas alcanzaron el rango de disponibilidad “bajo”, el resto reportó una disponibilidad de “muy bajo”. El valor mas alto encontrado fue de 1.13 meq/100g (muestra CA-40), y el valor mas bajo fue de 0.13 meq/100g (muestra CA-32). En el caso del magnesio no se reportaron cambios que indique un incremento de su disponibilidad a medida que el valor del pH aumenta.

6.4.6. Relación de pH vrs. Cobre.

De todas las muestras analizadas, la mayoría de ellas reportaron un rango de disponibilidad “bajo” y únicamente 9 reportaron un rango de disponibilidad “muy bajo”. El valor mas alto que se obtuvo fue 0.86 ppm (muestra CA-40) y un valor menor 0.04 ppm (muestra 31). En el caso de el cobre si se pudo observar un leve incremento en la disponibilidad a medida que pH se torna neutro. Ver cuadro 40 y figura 20.

6.4.7. Relación de pH vrs. Hierro.

En la relación entre la disponibilidad del Hierro y el pH, se encontró que la mayoría de los resultados se ubican en los rangos de disponibilidad “alto y bajo” y solamente una reporto tener “muy baja” la disponibilidad del Hierro. En el caso del Hierro se obtuvo un valor máximo de 18.26ppm (muestra CA-40) y un valor mínimo de 0.62ppm (muestra CA-59), se pude observar una disminución de la disponibilidad del Hierro a medida que el pH aumenta, exceptuando aquellas muestras que reportan suelos con textura franca en los cuales hay un aumento considerable. Ver cuadro 41 y figura 21.

6.4.8. Relación de pH vrs Manganeso.

De acuerdo con los resultados que se presentan en el cuadro 42 y la figura 22, se obtuvo un valor máximo en la disponibilidad de manganeso de 2.03 ppm (muestra CA-40) y un valor mínimo de 0.26ppm. Según el gráfico, no se reportó un incremento en la disponibilidad de manganeso a medida que incrementaba el pH, sin embargo los suelos “francos” y “franco-arcillo-arenoso” son los que presentaron los niveles de manganeso más altos.

6.4.9. Relación de pH vrs. Acidez Total (H + Al).

En el caso de la acidez total se reportaron datos que reflejan una disminución considerable en la presencia de H + Al a medida que el pH se tornaba neutro. Los valores obtenidos van, desde un máximo de 1.78 meq/100g (muestra CA-3) y un valor mínimo de 0.05 meq/100g (muestra CA-56). Ver cuadro 43 y figura 23.

6.4.10. Interpretación general de los resultados obtenidos.

En el análisis general del cuadro 44, se observa que los suelos con textura “franca” presentan mejores características físico-químicas para el desarrollo de los cultivos.

De acuerdo al tipo de fertilización y los cultivos que se realizan en estos cantones, es muy probable que la acidez se deba al uso excesivo de fertilizantes nitrogenados; sin embargo no se determinó que exista una relación directa entre el pH y la disponibilidad de la mayoría de los elementos en estudio, con excepción del Cobre, Hierro y la Acidez Total, en los cuales se observó, que existían cambios en la disponibilidad a medida que los valores de pH aumentaban.

También se encontró que en algunas muestras de suelo los valores de Acidez Total (H + Al) sobrepasaron de 1meq/100g, (CA-2, CA-3, CA-13, CA-14, CA-21, CA-25, CA-31) lo que podría indicar que exista aluminio en cantidades que puedan producir toxicidad y eviten de esa manera la absorción de nutrimentos por parte de las plantas.

CAPITULO VII
CONCLUSIONES

7.0 CONCLUSIONES

1. Con los datos obtenidos en la investigación, se puede decir que el problema de la disminución de la productividad y calidad de las cosechas en los suelos seleccionados en la zona de Cojutepeque, no está directamente relacionado con la acidez, sino con las características propias del suelo como es la presencia de un alto contenido de arena, que facilita el lavado de los nutrimentos del suelo y a la falta de una fertilización y manejo adecuada.
2. En las muestras de suelo de la zona de Cojutepeque, se encontró que la acidez de los suelos en estudio, no está relacionada con la presencia de Aluminio ya que éste no se encuentra en cantidades considerables que puedan generar toxicidad en las plantas, por lo que no es capaz de formar complejos con el fósforo que eviten la absorción de este.
3. En las muestras de suelos de la zona Cojutepeque se determinó que por lo general había deficiencia de potasio en aquellas muestras donde se practica el cultivo de tomate, coincidiendo con datos que reportan que el tomate es de los cultivos que más extraen potasio. Además de ello no se realiza un tratamiento adecuado del suelo previo al cultivo, lo que indica que no hay una reposición de los nutrimentos que son extraídos por los cultivos.

4. En el caso de las muestras de suelo de la zona Ciudad Arce, se encontró que la baja disponibilidad de los nutrimentos se encuentra relacionada con las características físicas del terreno, debido a que en ellas se determinó, que en suelos de textura “franco” la disponibilidad de los elementos era mayor que en suelos con textura diferentes, aunque no en los niveles deseados.
5. La determinación de la Acidez Total (H + Al) en las muestras de suelo de la zona de Ciudad Arce reportó que algunas muestras exceden de 1meq/100g esto podría ser índice de intoxicación con Aluminio, lo cual provocaría la formación de complejos con el fósforo que eviten la absorción de este.
6. Es posible que en algunos suelos de vocación agrícola no se estén llevando a cabo las prácticas adecuadas de tratamiento de los suelos previos y posteriores al cultivo, lo que contribuye a un desgaste del suelo y a la larga se traduzca en una baja producción en las cosechas.

CAPITULO VIII
RECOMENDACIONES

8.0 RECOMENDACIONES

1. Con el propósito de asegurar que los resultados obtenidos en los análisis de suelos sean lo mas cercano a la realidad, se recomienda llevar a cabo un muestreo que sea representativo del área en estudio, así también se debe considerar importante la obtención de toda la información de la muestra previo al análisis.
2. Realizar un estudio más profundo en suelos que presentan un bajo porcentaje de materia orgánica, de manera que se lleven a cabo las medidas necesarias para la corrección de este problema y así obtener mejores resultados en las cosechas.
3. También es importante realizar un estudio sobre la presencia de aluminio en los suelos para conocer si se relaciona con algún tipo de fitotoxicidad y de esta manera buscar la alternativa más adecuada para solucionar dicho problema.

4. Llevar a cabo análisis de los suelos previos al cultivo, de tal manera que se conozcan las condiciones de éste, y de ser necesario realizar las enmiendas que sean requeridas para evitar pérdidas en las cosechas.
5. Con el fin de evitar un mayor desgaste de los suelos de El Salvador, sería de gran beneficio realizar trabajos similares en las zonas de mayor actividad agrícola del país, de manera que se conozcan las condiciones en las que se encuentran y así realizar las acciones correctivas que sean necesarias para solucionar los problemas de acidez y de baja productividad.
6. A lo largo de los años en El Salvador se han utilizado fertilizantes nitrogenados que tienen un efecto acidificante a largo plazo y que han sido causa principal de los problemas de acidez en los suelos del país. Es por ello que se recomienda que las entidades encargadas de la agricultura en el país brinden al agricultor la información apropiada acerca del buen uso de los fertilizantes y los problemas que estos puedan causar con el uso prolongado o excesivo, además de buscar alternativas de fertilización que brinden nutrimentos necesarios para las plantas y que tengan menor efecto nocivo a largo o mediano plazo.

7. Las autoridades competentes deberían gestionar mayor apoyo a las instituciones encargadas de la agricultura para dar asesoría y realizar estudios acerca de los problemas encontrados en los suelos de El Salvador, con el objeto de crear un país de agricultura sostenible y al mismo tiempo generar fuentes de trabajo que permitan llevar el sustento a las familias salvadoreñas.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. Beaty R.D. Conceptos, Instrumentos y Técnicas de Espectrofotometría por Absorción Atómica (Perkin Elmer). Perkin Elmer Corporation. Impreso en Estados Unidos de America 1979.
2. Bornemiza, Elemer y Fassbender, W.Hans. Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura, EDITORIAL IICA, San José, Costa Rica.1987. Pág.161-175, 389 – 397.
3. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). Manual de Laboratorio de Suelos, 1998.
4. Diario El Mundo. Problema Nacional - La acidez del suelo salvadoreño. San Salvador 30 de Mayo de 1989.
5. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Levantamiento General de Suelos. Dirección General de Investigaciones Agronómicas. Republica de el Salvador, Abril de 1966. Cuadrantes: 2457 III Cojutepeque, 2357 IV Opico, 2357 III Nueva San Salvador.

6. Instituto Colombiano Agropecuario. Suelos Ecuatoriales “Acidez y enclamiento en el Trópico”. Sociedad colombiana de ciencia del suelo. Primer coloquio de suelos. Junio 1971. Pág. 1-17, 24-39.
7. Rioduero Editorial. Diccionarios Riodueros Ecología. Madrid 1975.
8. Rhodes, Frank. Geología, pequeña biblioteca Daimon. Ediciones Daimon, Manuel Tamayo, Barcelona 1975.
9. Saiz del Rio J. T. y Bornemiza, Elmer. Análisis Químico de Suelos “Métodos de Laboratorio para Diagnosis de Fertilidad”. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Departamento de Energía Nuclear. Turrialba, Costa Rica. 1961. Pág. 18-20, 21-34, 57, 63, 94-95.
10. Sánchez, A. P. Suelos del Trópico. características y manejos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica, 1970. Pág. 250-252.

11. Teuscher, Henry; Adler Rudolf. EL SUELO Y SU FERTILIDAD. CIA. Editorial Continental, S.A. de C.V. Octava impresión. México junio de 1984. Págs. 25, 26, 27.
12. Torres Arias, Gilberto; Córdova Osorio, Mario; Córdova E. Raúl Ernesto. Uso de Enmiendas o Alcalinizantes en Suelos Ácidos de las Zonas Cafetaleras de El Salvador. Instituto Salvadoreño de investigaciones del Café, MAG, Departamento de Suelos y Química Agrícola, El Salvador, 1990.
13. Trilla Editorial, SEP. Manuales para la Educación, SUELOS Y FERTILIZACION. Tercera Impresión, México, Noviembre de 1983.
14. Valente Moraes, José Francisco. ENCALADO EN SUELOS (Documental CENTA). División de Investigación Agrícola Proyecto CENTA-BID / TECNOSAN-EMBRAPA. El Salvador. 1987. Pág. 2-4.
15. <http://www.sagan-gea.org/hojaredsuelo/paginas/13hoja.html>
Carbono, Hidrogeno y Oxigeno en el suelo.

16. <http://www.fertilizar.org.ar/articulos/>

Los Fertilizantes Nitrogenados y la Acidificación del suelo.

Efecto de diferentes fuentes de Nitrógeno amoniacal sobre la acidificación del suelo. Reporte de International Fertilizer Development Center (IFDC).

Agosto del 2001. Adaptado por Ing. Ftal. Ana Maria Lupi

17. <http://www.platea.pntic.mec.es/~rrodri1/propied.html>

Clasificación de Suelos y el Triangulo Textural.

18 <http://www.fertiberia.com>

Influencia de la reacción sobre las características del suelo.

GLOSARIO

GLOSARIO

Abono: Toda materia que se agrega al suelo para aumentar su fertilidad y su capacidad de rendimiento, o para elevar la calidad de sus productos. Fundamentalmente pueden distinguirse dos tipos: los abonos orgánicos y los minerales. El abono orgánico contribuye a aumentar de forma inmediata el humus del suelo; el mineral completa y enriquece sus materias nutritivas. ⁽⁷⁾

Aire Edáfico: Nombre que recibe el contenido de aire que se encuentra presente en el suelo. ⁽⁸⁾

Atmósfera: Masa gaseosa que envuelve la tierra hasta los 800 Km de altitud. Los gases más densos llegan hasta unos 5 Km de nuestro planeta, en donde la atmósfera suministra lo esencial para el desarrollo de la vida: Oxígeno, CO₂, vapor de agua y nitrógeno. ⁽⁸⁾

Atrofia: Fenómeno en virtud del cual los procesos formativos de las sustancias vitales van menguando paulatinamente hasta anularse por completo, caso en el cual la célula, el tejido o el órgano respectivos quedan *Atrofiados*. ⁽⁷⁾

Biosfera: Espacio que la vida orgánica ocupa sobre el planeta. En el interior de la corteza terrestre alcanza pocos metros de profundidad (excepción hecha de las profundidades a que viven algunas bacterias); en el aire, sin embargo, el ámbito de lo viviente se extiende a varios kilómetros; en el agua existe vida a todas las profundidades. (8)

Coloide: Partes que forman una disolución coloidal, en el cual la materia se encuentra en partículas de 10^{-5} - 10^{-7} mm de tamaño. (8)

Disponibilidad: Cantidad en la que un nutrimento se encuentra en suelo y puede ser absorbido por la planta para llevar a cabo sus actividades vitales. (7)

Feldespatos: Son aluminosilicatos, ya sea de potasio, ortoclasa, microlina, etc., o de sodio y calcio (feldespatos plagioclasas). Son cristales mono y triclinicos. (8)

Fertilización: Materia que se agrega a los suelos para aumentar sus rendimientos. (7)

Fitotoxicidad: Carácter venenoso de una sustancia. La toxicidad aguda, determinada por una única toma de un producto, está caracterizada por la dosis

letal 50. La toxicidad subcrónica viene desencadenada por la toma repetida de un producto dentro de un periodo relativamente corto comparado con lo que dura la vida del organismo receptor y la toxicidad crónica es la provocada por la toma repetida de una sustancia tóxica durante un largo periodo de tiempo. (7)

Hidrosfera: Conjunto de las capas líquidas del globo terráqueo; comprende océanos, mares, aguas continentales, nieve y hielo. (8)

Horizontes: Conjunto de capas mas o menos paralelas a la superficie con caracteres químicos, biológicos y mineralógicos homogéneos. (7)

Humificación: Proceso en el cual todas las sustancias de origen orgánica en y sobre el suelo son sometidas a un proceso constante de degradación, transformación y estructuración para la formación del humus. (7)

Latosol: Suelo propio de las regiones tropicales. Se caracteriza por la descomposición completa de la roca, acumulación de óxidos de hierro y aluminio, humus escaso y la máxima filtración de los materiales solubles hasta los estratos inferiores. (8)

Litosfera: Capa superficial o corteza que envuelve al globo terráqueo. Está constituido principalmente por sílice y silicatos (granito, cuarzo, arenas y arcillas), algunos carbonatos, de los que el más importante es el calcio y una gran variedad de rocas. (8)

Litsoles: Nombre que reciben los suelos rocosos. (8)

Lixiviación: Proceso en virtud del cual las materias solubles o coloidales de los horizontes superiores de un suelo son arrastradas en profundidad por acción de las corrientes de agua descendentes. La intensidad de la lixiviación depende en primer término de la cantidad de precipitaciones atmosféricas. Según las condiciones climatológicas la *lixiviación* puede conducir a la descalcificación del suelo. (8)

Meteorización: Con este nombre se designan los procesos que pueden demoler una roca. Ello es debido a que, con frecuencia, minerales formados de modo especial (a temperaturas elevadas si son rocas ígneas) son inestables al quedar expuestos a las condiciones de la corteza terrestre, pues como la meteorización implica la interacción de la litosfera con la atmósfera y la hidrosfera, aquella varía según las condiciones climatológicas. Cualquiera que

sea la meteorización siempre se produce el desmenuzamiento de la roca y demás productos de descomposición. (7)

Nutrimentos: Del latín *nutrimentum* que significa: alimento. (7)

Percolación: Filtración del agua a capas profundas del terreno. En ocasiones el excedente de agua de regadío se pierde por percolación arrastrando consigo elementos nutritivos. (8)

Regosoles: Nombre que reciben los suelos con alto contenido de arena. (8)

Roca Madre: Es la roca de la cual se aporta a los suelos los elementos minerales cuando se produce su disgregación y descomposición. (8)

Sedimentación: Depósito de material rocoso meteorizado(o de organismos muertos, sustancias químicas, etc.) en lugares de la superficie terrestre y del fondo marino distintos al lugar de origen. Toda sedimentación va precedida de erosión y transporte. (8)

Silicatos: Grupo muy importante de minerales, puesto que se encuentran en gran porcentaje en la corteza terrestre. Se caracterizan por tener dos componentes esenciales: Silicio y Oxígeno, los que intervienen tanto en la estructura como en la composición química de estos minerales. Ejemplos son el cuarzo, micas, piroxenos, anfíbolos, turmalina, etc. ⁽⁸⁾

Titrimetría: Un análisis titrimétrico está basado en una titulación de una solución por otra, cuyas características deben ser preferiblemente conocidas. ⁽⁸⁾

Toba: [del gr. *tophos*, especie de piedra friable]

1. Variedad de roca calcárea blanda y porosa que puede presentar restos de conchas (moluscos, etc.)
2. En volcanología se aplica genéricamente a los depósitos de piroclastos soldados. Se pueden distinguir varios tipos de tobas. La toba cristalina presenta cristales rotos, corroídos o agrietados. La toba cristalina presenta una fracción mayoritaria de vidrio ígneo. Toba lítica es aquella cuya fracción mayor está constituida por fragmentos de roca. Toba híbrida es el resultado de la redepositación de material volcánico fragmentado con presencia de cuarzo detrítico y arcilla. ⁽⁸⁾

ANEXOS

ANEXO 1

DETERMINACIÓN DE FÓSFORO EN SUELOS UTILIZANDO LA SOLUCIÓN EXTRACTORA DE CAROLINA DEL NORTE ⁽³⁾

Método de extracción de fósforo.

Preparación de la solución extractora:

La solución extractora de ácido débil es una solución de aproximadamente 0.05 N de HCl y 0.025 de H₂SO₄. Medir cerca de 15 litros de agua en un frasco de 20 litros de capacidad, añada 12 mL. De H₂SO₄ concentrados y 73 mL. De HCl concentrados. Llevar a volumen de 18 litros y mezclar bien.

Determinación de fósforo.

El fósforo en los suelos se encuentra en forma orgánica e inorgánica: En forma inorgánica está presente como fosfato cristalino complejo derivado de la transformación de los fertilizantes, en forma no bien definidas absorbido al complejo coloidal y en la solución del suelo en la mayoría de los suelos como ácido fosfórico. En los orgánicos uno o más hidrógenos del ácido fosfórico dan origen a enlaces estéricos y el resto puede ser reemplazado por cationes.

Reactivo 1. Disuelva 25 g. de Molibdato de Amonio en 500 mL. De agua destilada. Disuelva 1.25 g. de Vanadato de Amonio en 500 mL. De una solución de partes iguales (1:1) de HNO₃ y agua destilada.

Prepare una solución fresca momentos antes de usarla, para desarrollo de color, mezclando volúmenes iguales de ambas soluciones.

Reactivo 2. Preparar una solución de 25 ppm de fósforo (P). Pesar 0.1098 g. de KH_2PO_4 y lleve a 1000 mL. Con solución extractora; esta solución se denominará “Solución patrón de Fósforo”.

Prepare una serie de soluciones con cantidades conocidas de fósforo (P) partiendo de la solución patrón de 25 ppm de fósforo en solución en la forma siguiente:

Cuadro 46. Volúmenes conocidos para la preparación de soluciones estándares de fósforo.

Volumen final (mL)	Alícuota de la solución patrón. (mL)	Alícuota de solución extractora (mL)	ppm de P en solución en el volumen final <u>1.</u> (ppm/mL)	Ppm de P en el suelo <u>2.</u>
100	100	0	25.00	125.0
100	90	10	22.50	112.5
100	70	30	17.50	87.5
100	50	50	12.50	62.5
100	20	80	5.00	25.0
100	10	90	2.50	12.5
100	5	95	1.25	6.25
100	2	98	0.50	2.25
100	0	100	0.00	0.00

$$1. \text{ ppm de P en solución en el volumen final.} = \frac{(\text{Alícuota de solución patrón}) (\text{ppm})}{\text{Volumen final}}$$

$$2. \text{ ppm de P en el suelo} = \frac{\text{ppm de P en solución 1 x mL sol. Ext.}}{\text{Gramos de suelo}}$$

Cuadro 47. Rangos de contenido de Fósforo.

Rango	Fósforo (ppm)
Muy bajo	0 - 8
Bajo	9 - 12
Alto	13 - 30
Muy alto	> 30

ANEXO 2

DETERMINACIÓN DE POTASIO. ⁽³⁾

Determinación de potasio por el método espectrofotométrico.

Reactivo No. 1:

Solución patrón de 50 ppm de potasio en solución. Pesar 0.0953 g. de KCl, el cual previamente se ha desecado a 105°C durante una hora y se disuelve con una solución extractora hasta completar un litro.

Se parte de ésta solución para preparar una serie de soluciones de concentración de K conocida para elaborar la curva de la siguiente manera:

Cuadro 48. Soluciones con cantidades conocidas de fósforo.

Volumen final (mL)	Concentración solución patrón (mL)	Alícuota de solución patrón (mL)	Cantidad solución extractora para llevar a volumen (mL)	Concentración de K de la nueva solución (1) mL	Contenido de K (2) en suelo usando factor 5 ppm
250	50	250	0	50	250
250	50	200	50	40	200
250	50	150	100	30	150
250	50	125	125	25	125
250	50	100	150	20	100
250	50	60	190	12	60
250	50	25	225	5	25
250	50	10	240	2	10
250	50	5	245	1	5
250	-	0	250	0	0

$$1. \quad \text{ppm de K de la nueva solución} = \frac{[\text{K}] \text{ en solución patrón} \times \text{alícuota de sol. patrón}}{\text{Volumen final}}$$

$$2. \quad \text{ppm de K en el suelo} = \frac{[\text{K}] \text{ de nueva sol. (1)} \times \text{mL de sol. Extrac.}}{\text{Volumen final}}$$

En el fotómetro de llama se lee un % de transmisión de luz de la serie de soluciones de concentración de potasio (K) conocida y se elabora con estos datos una curva en papel milimetrado. Las muestras se leen directamente del filtrado obtenido en la forma descrita en Extracción de Elementos.

Si se determina potasio en el equipo de Absorción Atómica, usando emisión se usan los siguientes patrones: 0, 10, 20, 30 y 40 ppm de K.

Cuadro 49. Rangos de contenido de Potasio.

Rango	Potasio (ppm)
Bajo	0 - 60
Alto	60 - 200
Muy alto	> 200

ANEXO 3

DETERMINACIÓN DE pH DEL SUELO. ⁽³⁾

Cuando se habla del pH del suelo se hace referencia a una de las cualidades más indicativas de sus propiedades. El que un suelo sea ácido, neutro o alcalino determina en gran parte la solubilidad de varios compuestos, la fuerza de unión de los iones en los sitios de intercambio y la actividad de los microorganismos.

El pH se define como el logaritmo negativo de la actividad de los iones H⁺ en una solución.

$$\text{pH} = - \log [\text{H}^+] = \log 1/ [\text{H}^+]$$

Determinación de pH del suelo en agua relación 1:2.5

Procedimiento

Tomar 10 g. de suelo (usando una cuchara medidora) agregar 25 mL de agua destilada, agitar de 10 a 20 minutos manualmente ó 5 minutos en medidor eléctrico. Luego tomar la muestra para lectura de pH en el potenciómetro. (El potenciómetro consta de un electrodo de calomel y el otro de vidrio).

Cuadro 50. Definición de rangos de pH.

Valores de pH	Definición
4.1 - 4.4	Extremadamente ácido EA
4.5 - 5.0	Muy fuertemente ácido MFA
5.1 - 5.5	Fuertemente ácido FA
5.6 - 6.0	Moderadamente ácido MA
6.1 - 6.5	Ligeramente ácido LA
6.6 - 7.3	Neutro N
7.4 - 8.0	Medianamente alcalino MAL
8.1 - 9.0	Fuertemente alcalino FAL
9.0 - >	Extremadamente alcalino EAL

ANEXO 4

CALCIO Y MAGNESIO INTERCAMBIABLES. ⁽³⁾

Equipo:

Espectrofotómetro de Absorción Atómica, agitador de Vaivén, centrífuga, balanza de Torsión.

Reactivos:

Cloruro de Potasio, Solución 1N

Oxido de Lantano 0.5% (disolver 11.73 g. de La_2O_3 en 50 mL. de HCl añadiendo lentamente, diluir a 2 Lts),

Soluciones estándares de Ca y de Mg preparadas con crisoles (1000 ppm).

Interpretación de resultados del método

El valor de Ca y Mg expresado en un análisis de suelo corresponde a la cantidad total de nutrimento que está disponible a las plantas; el absorbido a la superficie coloidal y el que está en solución.

Niveles menores a 4 meq de Ca/100 mL se consideran deficientes.

Cuadro 51. Límites de interpretación de Calcio.

Meq Ca/100 mL	Grado de disponibilidad
0 - 2.2	Muy bajo
2.3 - 4.0	Bajo
4.1 - 36	Alto
> 36	Muy alto

Cuadro 52. Límites de interpretación de Magnesio.

Meq Mg/100 mL	Grado de disponibilidad
0 - 0.8	Muy bajo
0.9 - 2.0	Bajo
2.1 - 18	Alto
> 18	Muy alto

Las deficiencias de Ca y Mg tienden a ocurrir en:

- Suelos ácidos, ricos en Al o en H.
- Suelos viejos muy meteorizados, lavados, ricos en aluminio (ultisoles y oxisoles).
- Suelos orgánicos ricos en H (histoles).
- Suelos arenosos, de baja CICE (Capacidad de intercambio catiónica efectiva).
- Suelos de regiones húmedas, con mucha precipitación.
- Suelos con material pobre en Ca y Mg.

La abundancia de Ca y Mg es un índice de juvenilidad del suelo. Está directamente asociada con una alta fertilidad natural, una alta capacidad de retención de cationes a través de carga fija y un alto pH. Esta situación ocurre en suelos ricos en arcillas 2:1, como los vertisoles.

Un suelo puede presentar una abundante cantidad de cada catión (Ca y Mg) y sin embargo ofrecer malas posibilidades de absorción de los mismos para la planta, debido a que se encuentra en proporciones desequilibradas.

Esta situación puede ser más adversa para la producción que cuando los contenidos de cationes son bajos pero equilibrados.

Relación Ca/Mg	Categoría
< 2	Baja
2.1 - 5	Media
> 5	Alta

Relación Mg/K	
< 2.5	Baja
2.5 - 15	Media
> 15	Alta

Relación Ca + Mg/K	
< 10	Baja
10 - 40	Media
> 25	Alta

Relación Ca / K	
< 5	Baja
5 - 25	Media
> 25	Alta

ANEXO 5

DETERMINACIÓN DE HIERRO, MANGANESO, COBRE. ⁽³⁾

Solución extractora:

Solución Mehlich N° 1 o Carolina del Norte (0.05 N de HCl y 0.025 de H₂SO₄, medir 15 litros de agua destilada y desmineralizada, añadir 12 mL de H₂SO₄ y 73 mL. de HCl llevar a 18 litros y mezclar bien.

Equipo:

Espectrofotómetro de absorción atómica

Balanza de Torsión

Agitador de Vaivén

Centrífuga.

Reactivos:

H₂SO₄ concentrado

HCl concentrado

Estándares de Fe, Mn, Cu y Zinc preparado con titrisoles.

Soluciones estándares:

Hierro: 0, 1, 3 y 6 ppm

Manganeso: 0, 1, 3 y 6 ppm

Cobre: 0, 0.5, 1, 2 y 5 ppm

Los resultados se reportan en ppm, multiplicando los resultados por la relación 1:5 luego por la dilución.

Cuadro 53. Interpretación de Resultados de Cobre, Hierro y Manganeso.

Cobre (ppm)	Grado de disponibilidad
0 - 0.1	Muy bajo
0.2 - 1	Bajo
1.1 - 3.0	Alto
3.1 - 20	Muy alto
Hierro (ppm)	
0 - 1	Muy bajo
2 - 10	Bajo
11 - 20	Alto
21 - 80	Muy alto
Manganeso (ppm)	
0 - 0.7	Muy bajo
0.8 - 5	Bajo
5.1 - 10	Alto
11 - 100	Muy alto

ANEXO 6

DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA. ⁽³⁾

Método de análisis.

Reactivos:

- Solución de Sulfato Ferroso ($\text{SO}_4\text{Fe}\cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Disolver 140 g. de Sulfato ferroso en más o menos 200 mL. de agua destilada. Añadir 40 mL. de ácido sulfúrico concentrado y disolver los cristales.

Esperar a que la solución tenga la temperatura ambiente y llevar a volumen (1000 mL.). Esta solución debe guardarse en frasco oscuro y en ausencia de luz para evitar que se reduzca. Hay que estandarizar este reactivo cada vez que se usa, por medio de una titulación con dicromato de potasio.

- Solución de dicromato de potasio 1N. Disolver 49.04 g de este reactivo (secado a 120-140°C por dos horas) en agua destilada y llevar a volumen (1000ml.).
- Indicador: Difenilamina (1.0 g en 100 mL. de H_2SO_4) al 98%.

Material:

Erlenmeyers de 500ml.

Buretas de 100 mL.

Beaker de 100 mL. y de 500 mL.

1 frasco gotero

1 placa de asbesto (1m x 0.50 m)

1 probeta de 250 mL.

Cuadro 54. Interpretación de resultados de materia orgánica

Rangos	Categoría
< 2% de materia orgánica	Bajo
2 - 4% de materia orgánica	Medio
> 4% de materia orgánica	Alto

Observación:

Los suelos arenosos se consideran ricos si tienen un 2 % de materia orgánica.

ANEXO 7

ACIDEZ DEL SUELO Y ALUMINIO INTERCAMBIABLE. ⁽³⁾

Reactivos:

1. Hidróxido de sodio (NaOH) 0.01N
2. Ácido clorhídrico (HCl) 0.01N
3. Fluoruro de Sodio (NaF) Solución: disolver 40 g. de NaF en un litro de agua.
4. Indicador fenolftaleína: disolver 0.1 g de polvo seco del indicador en 100 g. de alcohol etílico 95%.

Interpretación de resultados del método.

En suelos extremadamente ácidos con pH menor de 4.5 se recomienda determinar el % de saturación de aluminio que se calcula así:

$$\% \text{ saturación de aluminio} = \frac{\text{Acidez o Aluminointercambiable} \times 100}{(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Acidez}) \text{ o CICE}}$$

Si el porcentaje de saturación de aluminio es mayor de 25 % se recomienda iniciar un programa de encalado.

ANEXO 8

ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA - VISIBLE.

Un espectrómetro es un instrumento espectroscópico que emplea un monocromador o un policromador junto con un transductor, para formar la intensidad de la radiación en señales eléctricas. Los espectrofotómetros son espectrómetros que permiten hacer mediciones de la relación entre la radiación de dos rayos, que es el requisito para medir la absorbancia.

Los fotómetros emplean un filtro para seleccionar la longitud de onda, conjuntamente con un transductor de radiación adecuado. Los espectrofotómetros tienen la gran ventaja de que pueden variarse continuamente la longitud de onda, haciendo posible el registro del espectro de absorción. Los fotómetros tienen como ventaja su sencillez, resistencia y bajo costo. La mayoría de los espectrofotómetros abarcan las regiones UV - visible y ocasionalmente la región del infrarrojo cercano. Los espectrofotómetros pueden ser de haz sencillo o de doble haz.

Además ahora se cuenta con un instrumento de canales múltiples, con estos sistemas se puede obtener un espectro completo en cada ocasión. ⁽¹⁾

Instrumento de haz sencillo.

Un espectrofotómetro sencillo y económico es el Spectronic 20, diseñado para la región visible del espectro. El Spectronic 20 toma lecturas lineales de transmitancia, o logarítmicas de absorbancia, en una escala de 5½ pulgadas. El instrumento está equipado con un oclisor que es un aspa que cae automáticamente entre el haz y el detector cuando se retira la celda de su lugar.

El dispositivo de control de luz consta de una abertura en forma de V que se mueve dentro y fuera del haz para controlar la cantidad de luz que llega la rendija de salida. Los instrumentos de haz sencillo, son adecuados para las mediciones cuantitativas de absorción a una sola longitud de onda.

En este caso, las ventajas son: la sencillez del instrumento, su bajo costo y la facilidad de mantenimiento.

Instrumentos de doble haz.

Muchos fotómetros y espectrofotómetros modernos se basan en diseños de doble haz. En la figura 3 se muestran dos diseños de doble haz (b y c) y se comparan con un sistema sencillo (a). En la figura 3 (b) se ilustra un instrumento de doble haz en espacio en el que se forman dos rayos mediante un espejo en forma de V, llamado divisor del haz. Un rayo pasa a través de la solución de referencia hacia un fotodetector y el otro atraviesa simultáneamente la muestra,

hasta un segundo fotodetector acoplado. Los dos rayos de salida se amplifican y se obtiene electrónicamente o se calcula su relación o la relación entre sus logaritmos y se muestra en el dispositivo de lectura.

En la figura 3 (c) se ilustra un espectrofotómetro de doble haz en tiempo. En este caso los rayos se separan en tiempo girando un espejo de sector que dirige todo el haz hacia la celda de referencia y posteriormente hacia la celda de la muestra.

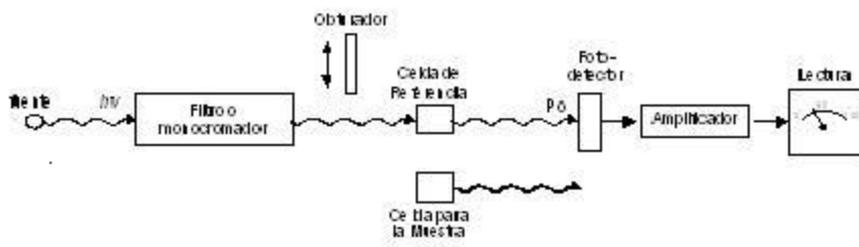
Los pulsos de la radiación se vuelven a combinar mediante otro espejo que transmite el rayo de referencia y refleja el rayo de la muestra.

Por lo general se prefiere al aparato en tiempo sobre el de doble haz en espacio debido a la dificultad de acoplar los dos detectores.

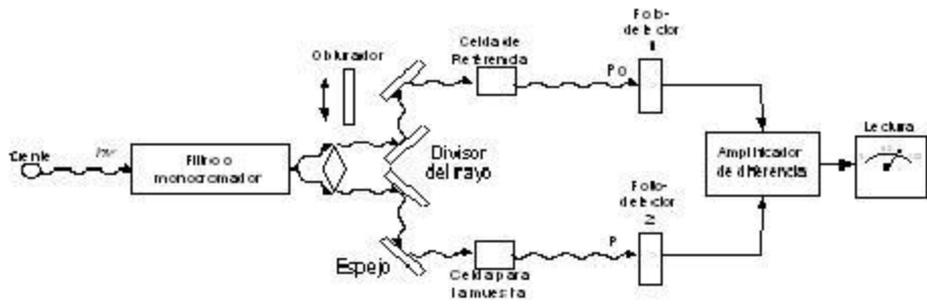
Los detectores de doble haz tienen la ventaja de que compensan todo menos la mayoría de las fluctuaciones cortas en la radiación de salida de la fuente.

También compensan las variaciones amplias en la intensidad de la fuente con la longitud de onda. Los diseños de doble haz son adecuados para el registro continuo del espectro de absorción. ⁽¹⁾

a)



b)



c)

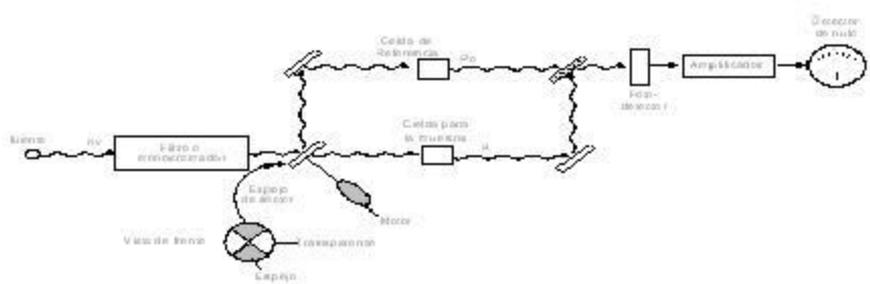


Figura 24. Diseño de instrumentos para fotómetros o espectrofotómetros de Ultravioleta - Visible.

ANEXO 9

ESPECTROSCOPIA ATÓMICA.

La ciencia de la espectroscopía de absorción atómica ha producido tres técnicas de uso analítico: la emisión, la absorción y la fluorescencia.

El átomo está constituido por un núcleo rodeado por electrones. Cada elemento tiene un número específico de electrones que está directamente relacionado con el núcleo atómico y que conjuntamente con él, da una estructura orbital, que es única para cada elemento. Los electrones ocupan posiciones orbitales en una forma predecible y ordenada. La configuración más estable y de más bajo contenido energético, es conocida como “estado fundamental” y es la configuración orbital normal para cada átomo.

Si a un átomo se aplica energía de magnitud apropiada, ésta será absorbida por él e inducirá que el electrón exterior sea promovido a un orbital menos estable o “estado excitado”. Como este estado es inestable, el átomo inmediatamente y espontáneamente retornará a su configuración fundamental. El electrón por lo tanto retornará a su orbital inicial estable y emitirá energía radiante equivalente a la cantidad de energía inicialmente absorbida en el proceso de excitación. El proceso es ilustrado en la Figura 4. Nótese que el paso 1 del proceso de excitación, es producido al suministrar la energía. El

proceso inverso de decaimiento del paso 2, emisión de luz, ocurre espontáneamente.

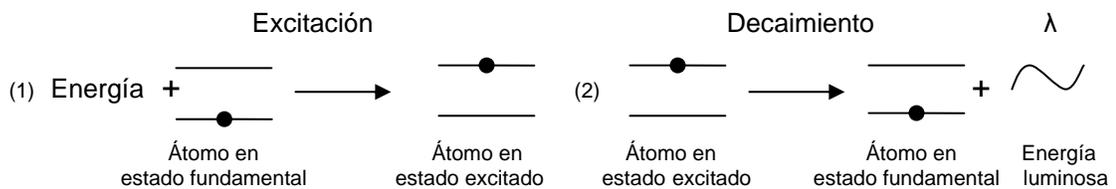


Figura 25. Proceso de Excitación y Decaimiento en el método analítico de Emisión Atómica.

La longitud de onda de la energía radiante emitida está directamente relacionada a la transición electrónica que se ha producido, puesto que un elemento dado tiene una estructura electrónica única que lo caracteriza; la longitud de onda de la luz emitida es una propiedad específica y característica de cada elemento.

Como la configuración orbital de un átomo grande puede ser compleja, existen muchas transiciones electrónicas posibles y cada una de ellas resultará en la emisión de luz de una determinada longitud de onda, como se ilustra gráficamente en la gráfica siguiente.

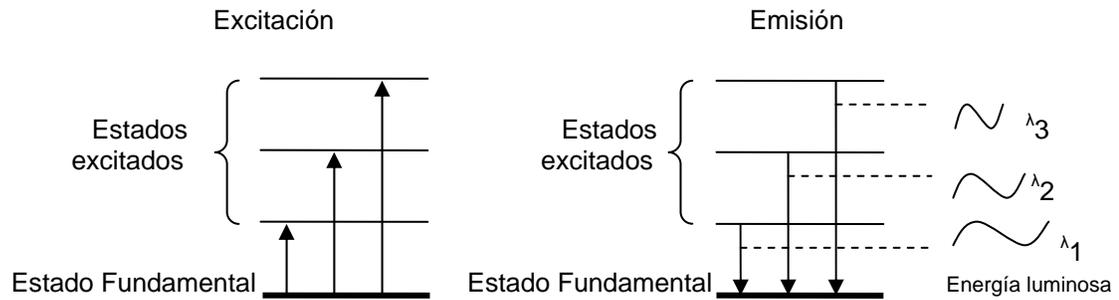


Figura 26. Esquema de transición de electrones provocada por la emisión de luz a una determinada longitud de onda.

El proceso de excitación y decaimiento al estado fundamental es común a los tres campos de la espectroscopía atómica. Por esta razón, ya sea la energía absorbida en el proceso de excitación o la emitida en el proceso de decaimiento, puede ser medida usada para propósitos analíticos. (6)

Emisión Atómica.

En este caso la muestra es sometida a una alta energía y temperatura, con el objeto de producir átomos al estado excitado, capaces de emitir luz. La fuente de energía puede ser un arco eléctrico, una llama o mas recientemente un plasma. El espectro de emisión de un elemento expuesto a una de estas fuentes de energía, consiste de una colección de bandas correspondientes a las longitudes de onda permitidas, comúnmente llamadas líneas de emisión, a causa de la naturaleza discreta de las longitudes de onda emitidas. Este

espectro de emisión puede usarse como una característica única para la identificación cualitativa de un determinado elemento. La emisión atómica utilizando un arco eléctrico, ha sido ampliamente empleada en análisis cualitativos.

Las técnicas de emisión también pueden usarse para determinar “cuanto” de un elemento está presente en una muestra. Para un análisis “cuantitativo” se mide la intensidad de la luz emitida a la longitud de onda del elemento por determinarse. La intensidad de la emisión a esta longitud de onda será cada vez mas alta conforme se incremente el número de átomos del analito.

La técnica de fotometría de llama es una aplicación de la emisión atómica en el análisis cuantitativo.

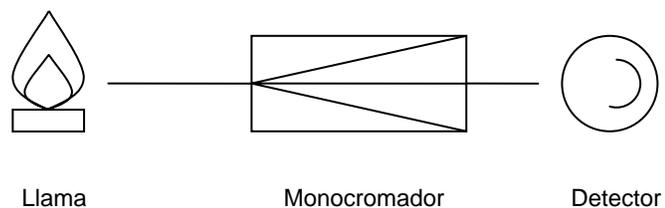


Figura 27. Esquema de Emisión Atómica.

Absorción Atómica.

Si una luz de una determinada longitud de onda incide sobre un átomo libre en estado fundamental, el átomo puede absorber energía y pasa al estado

excitado, en un proceso conocido como absorción atómica. Este proceso esta ilustrado en la Figura 28.



Figura 28. Proceso de la Absorción Atómica.

Las características de interés en las medidas por absorción atómica, es el monto de la luz, a la longitud de onda resonante, que es absorbida, cuando la luz pasa a través de una nube de atómica. Conforme con el número de átomos se incrementa en el paso de la luz, la cantidad que de ésta será absorbida se incrementará en una forma predecible. Se puede efectuar una determinación cuantitativa del analito presente, midiendo la cantidad de luz absorbida. El uso de fuentes especiales de luz y la selección cuidadosa de la longitud de onda, permite la determinación cuantitativa específica de elementos individuales en la presencia de otros.

La nube de átomos requerida para las mediciones en absorción atómica, es producida por la adición de suficiente energía térmica a la muestra para disociar los compuestos químicos en átomos libres. La aspiración de una solución de la muestra, dentro de una llama alineada con el rayo de luz, sirve

para este propósito. Bajo condiciones apropiadas de llama, mucho de los átomos permanecerán en la forma de su estado fundamental y ser capaces de absorber luz de longitud de onda apropiada proveniente de una fuente de luz. La facilidad y la velocidad a la cual se pueden hacer determinaciones exactas y precisas utilizando una técnica, han hecho que la absorción atómica sea uno de los métodos más populares para la determinación de metales. (6)

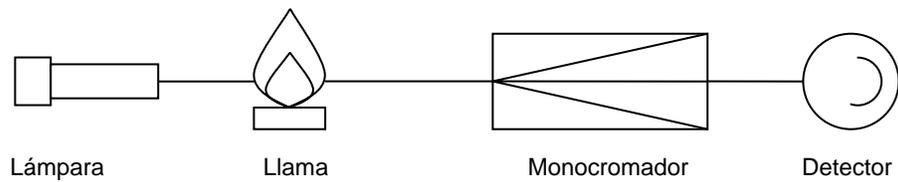


Figura 29. Esquema de Absorción Atómica.

ANEXO 10

TOMA Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA ⁽³⁾

1. Dividir el campo. Un muestreo adecuado requiere de la división del campo en unidades de suelos uniformes en el color, textura, topografía, profundidad cultivo anterior. Un diferente manejo del cultivo requiere de muestras separadas, inclusive en el mismo suelo. Las áreas erosionadas y con vegetación terciaria deben de ser muestreadas y evaluadas en forma separada.
2. Las muestras se tomaron utilizando una pala corriente.
3. Se toman a una profundidad de 0 a 35 cm. Aproximadamente.
4. Si se utiliza una pala, es necesario primero hacer un hoyo en forma de V luego, se remueve de un lado una capa de tierra de 3 cm. de grueso. Después se elimina la tierra de ambos lados del hoyo. Con la pala se toma una muestra del suelo en el centro del hoyo.
5. Se mezclan las muestras en un balde limpio. Las muestras tomadas de diferentes lugares de una unidad de suelo se mezclan adecuadamente para obtener un cantidad representativa, que debe de ser de 1 Kg.

6. El Kg de suelo mezclado se recoge en una bolsa o caja limpia, indicando el nombre, la dirección de la finca y el número o letra de identificación del campo.
7. El secado se realiza colocando la muestra en una bolsa de papel empaque, luego es llevada a una estufa a temperatura de 60°C por el periodo de 7 horas.
8. La muestra se hace pasar por un molino de rodillos, para disminuir el tamaño de las partículas del suelo. El tamiz utilizado es de 2mm con orificios circulares, el cual sirve para homogenizar el tamaño de las partículas.