

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA



**"Clasificación fisicoquímica de elementos mayores y menores en suelos de
San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos"**

Sury Karina López Gómez
Luis Fernando Sánchez Matta

Químicos Biólogos

Guatemala, octubre 2018

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA



**"Clasificación fisicoquímica de elementos mayores y menores en suelos de San Miguel
Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos"**

Seminario de Investigación

Presentado por

Sury Karina López Gómez
Luis Fernando Sánchez Matta

Para optar al título de
Químicos Biólogos

Guatemala, octubre 2018

JUNTA DIRECTIVA

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda	Decano
Licda. Elsa Julieta Salazar Meléndez de Ariza, M.A.	Secretaria
MSc. Miriam Carolina Guzmán Quilo	Vocal I
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal III
Br. Byron Enrique Pérez Díaz	Vocal IV
Br. Pamela Carolina Ortega Jiménez	Vocal V

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por ser nuestro guía y brindarnos fortaleza a lo largo del trayecto para alcanzar este logro.

A NUESTROS PADRES

Por su apoyo incondicional, entrega, trabajo y sacrificio.

LAS ENTIDADES

Laboratorio de análisis fisicoquímico de mina Marlin, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos, Guatemala. Laboratorio de Suelos "Salvado Castillo Orellana", Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

A LA TRICENTENARIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Por brindarnos la preparación adecuada para nuestra formación como profesionales.

Índice

1. Ámbito de la Investigación.....	1
2. Resumen	2
3. Antecedentes.....	4
3.1 Suelo	4
3.1.1 Ubicación geográfica.....	5
3.1.2 Extensión y altitud.....	5
3.1.3 Colindancias.....	6
3.1.4 Climatología.....	6
3.2 Propiedades fisicoquímicas	7
3.2.1 Propiedades físicas.....	7
3.2.2 Propiedades químicas.....	10
3.3 Macroelementos.....	11
3.4 Microelementos	13
3.5 Clasificación de tierra por capacidad de uso	16
3.6 Clasificación de tierras por capacidad de uso por el Instituto Nacional de Bosques de Guatemala –INAB-.....	18
3.6.1 Descripción de las variables físicas	18
3.6.2 Categorías de capacidad según INAB	18
3.7 Clasificación de suelo según metodología del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	21
4. Justificación	22
5. Objetivos.....	23
5.1 General.....	23
5.2 Específico	23
6. Materiales y Métodos	24

6.1 Universo	24
6.2 Recursos	24
6.2.1 Humanos.....	24
6.2.2 Institucionales.....	24
6.2.3 Equipo y Materiales.....	24
6.2.4 Reactivos	24
6.2.5 Cristalería	24
6.3 Metodología.....	24
6.3.1 Primera fase de gabinete.....	27
6.3.2 Fase de campo	27
6.3.3 Segunda fase de gabinete.....	31
7. Diseño y análisis estadístico	32
7.1 Población y muestra	32
7.2 Variables de interés.....	33
7.3 Análisis de resultados	34
8. Resultados.....	35
9. Discusión de resultados	44
10. Conclusiones.....	48
11. Recomendaciones	49
12. Bibliografía.....	50
13. Anexos	55

1. Ámbito de la Investigación

La clasificación de suelos es una actividad que se realiza mediante el análisis de un conjunto de muestras y herramientas de ingeniería y geología, compara características químicas, físicas y biológicas, y determina el origen de los materiales, describiendo la textura y tamaño de las partículas del suelo; la información se presenta en unidades que puedan ser geo-referenciadas y mapeadas.

El suelo desempeña funciones importantes en el planeta, ya que actúa como medio filtrante amortiguador y transformador; es hábitat de miles de organismos y es donde se llevan a cabo los ciclos biogeoquímicos (Volke , Velasco, & De la Rosa, 2005).

El ámbito de la investigación se refiere la clasificación de los elementos mayores y menores del suelo de los municipios de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos, mediante el análisis fisicoquímico, con el fin de escoger un grupo reducido de variables fisicoquímicas, que funcionaran como indicadores y que puedan ser empleados para establecer una tipología de referencia de clasificación de suelos.

Los municipios en mención caracterizan su topografía por un territorio quebrado, montañoso y volcánico. Su clima es en general húmedo con invierno seco y en las zonas de menor altitud se tiene un clima cálido, es por ello que dicho lugar es propicio para el estudio de clasificación de suelos (Cano, 2005).

El seminario de investigación se realizó en el departamento de medio ambiente en mina Marlín, en conjunto con el Laboratorio de Edafología de la Facultad Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala; se tomó un conjunto de muestras que posteriormente fueron analizadas como parte de las actividades del estudio de investigación Clasificación fisicoquímica de elementos mayores y menores en suelos de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos.

2. Resumen

El suelo desempeña funciones de gran importancia para el sustento de la vida en este planeta, es fuente de alimentos para la producción de biomásas, actúa como medio filtrante, amortiguador y transformador, es hábitat de miles de organismos y es el escenario donde ocurren los ciclos fisicoquímicos del mismo. En el suelo se llevan a cabo la mayoría de las actividades humanas, sirviendo de soporte físico y de infraestructura para la agricultura, actividades forestales, recreativas, y agropecuarias, además la socioeconómica como vivienda, industria y carreteras (Volke et al., 2005). El presente estudio consiste en la clasificación fisicoquímica de elementos mayores y menores en suelos de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos, Guatemala.

Para ello se llevó a cabo un muestreo de suelos en ambos municipios seleccionando 60 sitios georreferenciados. Se llevaron a cabo las siguientes determinaciones: elementos mayores y menores, pH, porcentaje de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y densidad aparente.

Los resultados del pH en promedio es cercano a 6, se cataloga cercano al rango máximo de suelos ácidos, (pH entre 4 y 6); lo que refiere que la disponibilidad de fósforo o elementos mayores es buena. Los porcentajes de materia orgánica fueron muy variables, debido a que provienen de diversos usos y algunos son de áreas con sedimentos, suelos agrícolas y forestales.

La densidad aparente muestra una relación significativamente negativa con la materia orgánica, ya que los suelos orgánicos tienen muy baja densidad en comparación con los suelos minerales.

Con los resultados obtenidos, también se muestra que existe una relación significativa entre la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), esta relación indica la capacidad del suelo para retener nutrientes, siendo la textura arcillosa con mayor cantidad de cationes y los de textura arenosa con reducida capacidad de cambio y baja retención de cationes (Bornemisza, E., 1982).

La textura del suelo también presenta variación en los suelos de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos, con la siguiente frecuencia: franco arcilloso arenoso \geq franco arenoso \geq franco arcilloso \geq franco \geq arcilloso.

Según la clasificación USDA los suelos analizados tienen alta capacidad para bosques y en poca medida para el desarrollo de pastoreo extensivo y las categorías de capacidad de uso de INAB los describe en las categorías de agricultura sin limitaciones, agroforestería con cultivos permanentes, agroforestería con cultivos anuales y tierras forestales de producción.

3. Antecedentes

3.1 Suelo

Los suelos por su naturaleza contienen elementos químicos y simultáneamente se combinan entre fases sólidas, líquidas y gaseosas. Además el número de características físicas, químicas y biológicas y sus combinaciones llegan a ser casi infinitas. Por esta variabilidad existen varias formas de clasificación. Los sistemas de clasificación de suelos fueron también desarrollados para otros fines con las siguientes clasificaciones:

- a) La Taxonomía de Suelos para la interpretación de inventario de suelos
- b) La Leyenda Revisada de Food and Agriculture Organization of United States (FAO) para su distribución global y geográfica
- c) La Base Referencial Mundial por sus siglas en inglés (WRB), para facilitar correlaciones entre diferentes sistemas de clasificación de suelos (FAO, 2017).

Los suelos de este proyecto de investigación están situados sobre la altiplanicie central de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos, se definen como escarpados con textura franco arcilloso, sobre materiales volcánicos (Tabla 1) (Simmons & Pinto, 1999).

Tabla 1 Características que poseen los suelos de Patzité

Característica	Descripción
Material madre	Cenizas volcánicas de color claro
Relieve	Escarpado
Drenaje interno	Bueno
Suelo superficial	Color: café oscuro, textura: franco arcilloso, consistencia: fiable y espesor: 20 cm.
Sub suelo	Color: café amarillento, textura: franco arcilloso arenosa, Consistencia: fiable y espesor: 50 cm.

Fuente: Simmos, T. & Pinto. (1999). Estudio de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Guatemala: INTER-Americano.

De manera general en los territorios las características que influyen en el uso del suelo son:

- a. declive dominante;
- b. drenaje a través del suelo;
- c. capacidad de abastecimiento de humedad;
- d. peligro de erosión;
- e. fertilidad natural;
- f. problemas especiales en el manejo del suelo.

En el estudio se analizó la aptitud de los suelos para la producción de cultivo de hortalizas, granos básicos y frutales. En estudios anteriores se identificó que por no contar con el recurso de agua, la población no se encuentra interesada, únicamente se cultivan granos básicos como maíz y frijol para la subsistencia familiar, por los habitantes de San Miguel Ixtahuacán y centro de Sipacapa, se dedican a labores comerciales (Cano, 2005).

3.1.1 Ubicación geográfica

El área de estudio se encuentra ubicada en el municipio de San Miguel Ixtahuacán (comunidad San José Nueva Esperanza) y Sipacapa del departamento de San Marcos. Según el Instituto Geográfico Nacional, en el plano cartesiano, la comunidad de San José Nueva esperanza del municipio de San Miguel Ixtahuacán se sitúa entre las coordenadas geográficas 15°13'49'' latitud norte a 91°42'04'' longitud oeste (Instituto Geografico Nacional, 1996) (anexo 1).

3.1.2 Extensión y altitud

El área de estudio constituye una extensión de explotación 358.8 hectáreas a una altura mínima de 1,550 y una máxima de 2,350 msnm. El área de estudio comprende 800 hectáreas rodeando la mina Marlin (Cunsoltoria Tecnologica Ambiental, 2012)

3.1.3 Colindancias

El área de estudio colinda al norte con el municipio de San Miguel Ixtahuacán, al sur con el municipio de Sipacapa, al este con el municipio de Sipacapa y al oeste con el mismo municipio de San Miguel Ixtahuacán (Cano, 2005).

3.1.4 Climatología

a. Precipitación pluvial

La precipitación promedio histórico anual entre 1,990 a 2,001 es de 1008.3 mm con 129 días de lluvia en el año. En el año 2,012 el promedio anual es de 731.5 mm de lluvia, los meses más secos fueron enero, marzo y abril, sin embargo los meses más lluviosos son junio, septiembre y octubre (Cunsoltoria Tecnologica Ambiental, 2012)

El comportamiento de la precipitación pluvial se ha observado que es de tipo bimodal del último año (2012), presentando su valor máximo de 208.6 mm. Que precipitó en 22 días entre los meses de agosto y septiembre (Dardon, 2011)

Las lluvias son localizadas, producto del valle del río Cuilco y por estar encajonado entre dos sistemas de montañas, no responde directamente a los efectos de las tormentas y huracanes. En el lugar de la mina se concluye que existe una precipitación moderada, con valores alrededor de 731.5 mm/año y con un comportamiento de lluvias localizado. Se clasifica según las imágenes satelitales de WunderMap como húmedo con invierno seco (Cunsoltoria Tecnologica Ambiental, 2012).

b. Temperatura

Las temperaturas máximas mensuales del año 2012 varían de 30.2 °C (marzo) a 28.2 °C (mayo). Mientras que las temperaturas mínimas mensuales varían de 5.6 °C (enero) a 11.0 °C (agosto). Finalmente, las temperaturas medias mensuales fluctúan entre 15.2 a 18.3.8 °C durante el año. El área presenta temperaturas moderadas que varían entre 5.6 a 30.2 °C con temperaturas medias a 16.9 °C, las cuales dan un clima templado y un efecto térmico local provocado por el valle del río Cuilco (Cunsoltoria Tecnologica Ambiental, 2012).

c. Humedad relativa (HR)

El comportamiento de la HR es similar al de la temperatura, la HR anual promedio es de 71.3%. Sin embargo, se observó una pequeña variación de 54.2 a 79.6 % humedad media en el año 2012. De la misma manera, la humedad máxima varió apenas de 99 a 100 % y la humedad mínima de 7 a 28 %. En conclusión, en el área de la mina la HR es muy variable, se presentaron humedades máximas de 100 % y mínimas de 7 % (Cunsoltoria Tecnológica Ambiental, 2012).

d. Flora

Las partes boscosas que se presentan en la comunidad son privadas, pues ya no existen astilleros comunales. Dentro de la vegetación natural predominante que puede considerarse indicadora es la de rodales de *Quercus spp.* asociado generalmente con *Pinus pseudostrobus* y *Pinus montezumae*, *Juniperus spp.*, *Alnus jorulensis*, *Ostrya virginiana*, *Carpinus caroliniana*, *Prunus capulí* y *Arbutus xalapensis*.

La composición florística de la comunidad de San José Nueva Esperanza, está integrada por 62 familias, 126 Géneros y 170 especies, siendo las más diversas *Asteraceae*, *Poaceae*, *Bromeliaceae*, *Fabaceae*, *Orchidaceae*, *Fagaceae*, *Líquenes*, *Liliaceae* (Cano, 2005).

3.2 Propiedades fisicoquímicas

3.2.1 Propiedades físicas

Los suelos en general son una mezcla de materiales sólidos, líquidos y gaseosos. La adecuada relación entre estos componentes determina la capacidad de hacer crecer a las plantas y la disponibilidad de suficientes nutrientes (oxígeno y agua) para ellas. (Donahue & Schickluna, 2000).

Las propiedades físicas de un suelo tienen mucho que ver con la capacidad que el hombre les da para muchos usos. Las características físicas de un suelo en condiciones húmedas y secas para las edificaciones, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la retención de

nutrimentos de las plantas, etc. están íntimamente conectados con la condición física del suelo (Porta Casanellas & M., 2003).

Los suelos poseen diferentes características como textura, estructura, densidad, porosidad, consistencia, temperatura y color denominados como factores dominantes que afectan su uso, una observación de diferentes suelos revela cantidades de piedras, arenas finas o gruesas, suelo pulverizado, arcilla, terrones o masas, materia orgánica y materiales vegetales (Donahue & Schickluna, 2000).

Otras propiedades físicas son:

- a. Niveles de acidez (pH): es una escala del nivel de acidez (pH) en la solución del suelo, tiene mucha influencia sobre la disponibilidad de la mayoría de nutrientes de la planta, la actividad de los microorganismos en el suelo y el desarrollo de la raíces (Canto, 2012). Posee tres condiciones posibles: acidez, neutralidad, y alcalinidad (Buchman & N.C.Brady, 1966). Cada cultivo tiene un nivel óptimo de pH, que depende de la habilidad de las plantas para ajustarse a las condiciones que acompañan los efectos del pH en el suelo (Tabla 2).

Tabla 2. pH y su evaluación en suelos

pH	Evaluación en Suelos
<4.5	Extremadamente ácido
4.5-5.0	Fuertemente ácido
5.1-5.5	Moderadamente ácido
5.6-6.0	Ligeramente ácido
6.1-7.2	Neutral
7.3-7.8	Moderadamente alcalino
7.9-8.4	Fuertemente alcalino
>8.5	Extremadamente alcalino

Fuente: (Laboratorio de Edafología 2008).

- b. Densidad aparente (Da): en el suelo se obtiene del peso seco dividiéndolo con el volumen, tal obtención depende de varios factores, como la densidad de las partículas del suelo, la cantidad de materia orgánica, la compactación del suelo, las actividades de

los animales, tales como las lombrices y la abundancia de las plantas (Cantó et al., 2012). Los resultados de las densidades aparentes son fundamentales para calcular los movimientos de humedad, los grados de formación de arcilla y la acumulación de los carbonatos en los perfiles de suelo, Los suelos orgánicos tienen muy baja densidad aparente en comparación con los suelos minerales (Aguilera, 1989).

- c. Porcentaje de humedad (%H): el contenido de agua en el suelo puede ser benéfico, pero en algunos casos también perjudicial. El exceso de agua en los suelos favorece la lixiviación de sales y de algunos otros compuestos; por lo tanto, el agua es un regulador importante de las actividades físicas, químicas y biológicas en el suelo (Topp, 1993). El contenido de agua en el suelo depende de varios factores, tales como, la cantidad de lluvia en el área, la habilidad del suelo para retener esta agua, depende de los factores físicos del suelo tales como: el espacio o poros del suelo, entre los agregados del suelo y la textura del suelo (Canto, 2012).
- d. Clase estructural: se define en términos de grado, clases y tipo de agregados. El grado de estructura es la intensidad de agregación y expresa la diferencia entre la cohesión dentro de los agregados y la adhesividad entre agregados. En referencia a ella, el suelo se define sin estructura, o con estructura débil, moderada o fuerte (USDA, 1998); para ello las partículas del suelo no se encuentran aisladas, forman agregados estructurales que se llaman peds. Estos agregados por repetición dan el suelo. La estructura es un estado, ya que cuando el suelo está seco se manifiesta la estructura, en cuanto a su morfología tiene tendencia a manifestarse con un determinado hábito como: migajosa, granular y bloques (Canto, 2012).
- e. Conductividad eléctrica (CE): la conductividad eléctrica ha sido el parámetro más extendido y el más ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad. Se basa en la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, la cual es proporcional a la concentración de sales en solución (Landsberg, 1981). El análisis de la CE en suelos se hace para establecer si las sales solubles se encuentran en cantidades suficientes como para afectar la germinación normal de las semillas, el crecimiento de las plantas o la absorción de agua por parte de las mismas (Tabla 3) (Burges, 2012).

Tabla 3. Escala y guía para la interpretación de concentración de sales

C.S. (dS/m)	Interpretación
0.00-0.20	Bajo contenido de sales. La disponibilidad de algunos nutrientes puede estar baja. Se presentan estos niveles en suelos arenosos donde hay mucha lixiviación (lavado) de nutrientes o en suelos donde hay una alta precipitación pluvial
0.21-0.40	Nivel adecuado de sales. Estos niveles generalmente se presentan de forma natural en suelos alcalinos o arcillosos
0.41-0.80	Nivel alto para cultivos permanentes. Son niveles adecuados en cultivos bajo fertirriego o fertilización constante
0.81-1.40	Niveles altos para cultivos sensibles, en especial almácigo o plantas pequeñas. Son niveles aceptables para cultivos resistentes a sales
1.41-2.00	Extremadamente alto nivel de sales. Nivel de peligro para la mayoría de cultivos
>2.0	Niveles Tóxicos

Fuente: (Laboratorio de Edafología 2008).

3.2.2 Propiedades químicas

Una propiedad química es cualquier propiedad en que la materia cambia de composición, algunas sustancias químicas se lixivian en las capas inferiores del suelo donde se acumulan, otras sustancias químicas, que son menos solubles, quedan en las capas superiores del suelo (Food and Agriculture Organization of de United States (FAO), 1976).

Las propiedades químicas de los suelos incluyen: solubilidad mineral, disponibilidad de nutrientes, reacción del suelo, intercambio de cationes y acción de amortiguación, todas estas propiedades son estudiadas a fin de mejorar la disponibilidad de los nutrientes para las plantas, evitar toxicidad de elementos, utilizar la población microbiana y para mejorar la condición física del suelo (Donahue & Schickluna, 2000).

3.3 Macroelementos

Reciben el nombre de macroelementos, aquellos elementos indispensables, aunque las cantidades necesarias son mayores para que las plantas puedan completar su ciclo vital, dentro del grupo de macroelementos se encuentran:

- a. Saturación de bases (SB): corresponde al porcentaje de cada una de las bases de cambio en referencia al total de bases del suelo, este parámetro permite definir la disponibilidad de elementos como el Ca, Mg, Na y K para las plantas; un porcentaje de saturación de bases menor al 35% es considerada como un parámetro bajo, %SB contenidos entre 35 - 50 % es considerado medio y mayor al 50% es un parámetro de saturación alto (Food and Agriculture Organization of de United States (FAO), 1994).
- b. Materia orgánica (MO): en el suelo la constituyen los residuos animales o vegetales en estado de descomposición, el contenido de las misma en el suelo es un parámetro que refleja la calidad de suelo, porque influye en todas sus propiedades químicas, físicas y biológicas (Dominguez, 2012).

En general, la materia orgánica se clasifica en compuestos húmicos y no húmicos. El producto de tal transformación es una mezcla compleja de sustancias coloidales y amorfas de color negro o marrón oscuro denominado genéricamente humus. El humus constituye aproximadamente entre el 65 y el 75 % de la materia orgánica de los suelos minerales (Brady, 1984).

La cantidad de materia orgánica en el suelo está determinada por factores como: temperatura, humedad, el tipo de cultivado y el tipo de suelo (Tabla 4) (Dominguez, 2012).

Tabla 4. Porcentaje de materia orgánica (M.O) y su evaluación en suelos.

MO (%)	Evaluación
<2.0	Bajo
2.0-4.0	Normal
>4.0	Alto

Fuente: (Laboratorio de Edafología 2008).

- c. Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe): indica la capacidad del suelo para retener nutrientes. Es la suma de los cationes retenidos en los suelos coloides del suelo:

$$C.I.C.e = \sum [Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+} + Na^{+} + Al^{+3} + H^{+}]$$
 (Tabla 5) (Diaz & Peñuela, 2013).

Tabla 5. Capacidad de intercambio catiónico efectiva (C.I.C.e.) y su evaluación en suelos.

Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva (meq/100ml)	Evaluación
>5.0	Muy Bajo. Se presenta en suelos ácidos, en condiciones de alta precipitación pluvial o suelos arenosos donde hay poca retención de nutrientes, son fácilmente lixiviados y tienen poca capacidad de tampón.
5.1-15.0	Adecuado
>15.1	Alto. Se presenta en suelos arcillosos, o con mal drenaje. Generalmente presentan altos niveles de Ca, Mg, K y Na tienen mucha capacidad tampón.

Fuente: (Laboratorio de Edafología 2008).

- d. Nitrógeno (N): es el elemento mineral más importante en la nutrición vegetal, el mismo se encuentra en distintas formas en el suelo, aunque es absorbido por las plantas y microorganismos como nitrato o amonio (Volke, Velasco, & De la Rosa P, 2005). Es un constituyente importante de clorofila, aminoácidos, proteínas, hormonas, ácidos nucleicos y vitaminas (Dominguez, 2012).
- e. Fósforo (P): es el nutriente que más limita el desarrollo de los cultivos, a pesar de que las plantas lo necesiten en menores cantidades, el mismo interviene en numerosos procesos bioquímicos a nivel celular y a mejorar la resistencia a las bajas temperaturas (Topp, 1993). La deficiencia del fósforo en el suelo se debe principalmente a la capacidad de algunos suelos para fijar fósforo, las características químicas de algunos suelos (fuertemente ácidos o alcalinos), la intensidad con que un suelo ha sido intemperizado y el tiempo que el suelo ha sido cultivado intensamente (Diaz & Peñuela, 2013).

f. Potasio (K): El potasio se encuentra en los suelos como componente de la roca madre en forma de silicatos, en el interior de las láminas de la arcilla, fijado al complejo arcillo-húmico y en la disolución del suelo. Únicamente el que está en la disolución de suelo es el asimilable por las plantas en forma iónica (K^+) (Craul & Klein, 1980). Constituyen los tejidos estructurales de las plantas, ayuda en el proceso metabólico del Nitrógeno y en la síntesis de proteína y clorofila e incrementa la calidad de los frutos (Diaz & Peñuela, 2013).

El potasio participa en el antagonismo catiónico, proceso poco específico que depende de concentración, y en el que participan otros cationes como Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ . Si uno de los cationes se encuentra en menor concentración, el resto de los cationes tiende a compensar ese déficit, de forma que la suma total de cationes en el tejido vegetal tiende a permanecer constante (Tabla 6) (Bocco & Mendoza, 1999).

Tabla 6. Rango adecuado de potasio (K) en el suelo.

Nivel de Capacidad de Intercambio Catiónico efectivo (meq/100m)	Rango Adecuado de Potasio (ppm)
Bajo <5.0	75-150 ppm
Adecuado 5.1-15.0	151-300 ppm
Alto >15.0	300-500 ppm

Fuente: (Laboratorio de Edafología 2008).

3.4 Microelementos

Se consideran microelementos todos aquellos elementos químicos presentes normalmente en agua de riego o en el agua del suelo en concentraciones inferiores a unos cuantos mg/L, y normalmente en concentraciones inferiores a las trazas. Algunos de estos elementos son esenciales para el crecimiento de las plantas, en cambio, en cantidades excesivas reducen el crecimiento (Bockheim, 1984).

La aplicación en exceso de elementos traza puede llegar a contaminar eventualmente los suelos, pudiendo reducir de forma importante su productividad o producir cosechas inaceptables.

La toxicidad causada por estos elementos guarda relación con determinadas técnicas de gestión agrícola (Díaz & Peñuela, 2013). Los microelementos como cobre (Cu), hierro (Fe), magnesio (Mg), calcio (Ca), manganeso (Mn), cinc (Zn), son necesarios para las plantas en cantidades muy pequeñas. La mayoría de microelementos a excepción de molibdeno (Mo), se hacen menos disponibles a las plantas en suelos alcalinos. A continuación se describen algunas funciones de los microelementos:

- a. Cobre (Cu): importante en la formación de clorofila y activador de diversos procesos enzimáticos (Borges, 2012). Se puede encontrar en dos formas iónicas, Cu^+ y Cu^{2+} que son relativamente intercambiables: el cobre es absorbido como catión divalente Cu^{2+} en suelos aireados, el mismo es absorbido como Cu^+ en suelos con poco O_2 o mucha agua (Tabla 7) (Kays, 1982).

Tabla 7. Forma y dosis de aplicación del microelemento

Elemento	Rango Adecuado	Recomendación al Suelo		Recomendación
		Suelos ácidos (pH<7.0)	Suelos alcalinos (pH>7.0)	
Cu	1-10	2 kg/ha	2 kg/ha	0.25 kg/ha

Fuente: (Laboratorio de Edafología 2008).

- b. Hierro (Fe): importante en las reacciones que forman la clorofila y en las moléculas que transportan oxígeno. La absorción de Fe en suelos calizos es problemática debido a que su solubilidad a pH básico es muy baja. La planta lo absorbe de forma activa, como Fe^{2+} , después de ser reducido el Fe^{3+} , por una reductasa férrica en el exterior de la raíz. En caso de baja disponibilidad de Fe hay plantas capaces de desarrollar mecanismos de absorción más activos (Tabla 8) (Patterson, 1982).

Tabla 8. Forma y dosis de aplicación del microelemento.

Elemento	Rango Adecuado	Recomendación al Suelo		Recomendación
		Suelos ácidos (pH<7.0)	Suelos alcalinos (pH>7.0)	
Fe	40-250	5 kg/ha	10 kg/ha	0.50 kg/ha

Fuente: (Laboratorio de Edafología 2008)

- c. Calcio (Ca): es un elemento predominante en casi todos los suelos. A pesar de su función como nutriente secundario, es muy importante en las características físicas y químicas del suelo. Las deficiencias de calcio como elemento nutricional son raras. Hay ciertos cultivos como el maní, tomate, mora, frambuesa y chile que necesitan aplicaciones adicionales de calcio como fertilizantes, porque necesitan altos requerimientos de este elemento (Burges, 2012).
- d. Magnesio (Mg): importante en su relación con otros cationes como Ca y K. Un suelo ideal tiene una saturación de Mg entre 10% y 20%. Absorción mayoritariamente pasiva en forma catiónica divalente, Mg^{2+} . Se comporta como un elemento muy móvil tanto en la célula como en toda la planta. Participa en el intercambio catiónico con el resto de cationes osmóticos. En suelos es un elemento menos abundante que el calcio (Food and Agriculture Organization of de United States (FAO), 1985).
- e. Manganeso (Mn): es un activador de diversos procesos enzimáticos, ayuda en la síntesis de clorofila y acelera la germinación y madurez. El manganeso es absorbido por la planta como Mn^{2+} , tanto por la raíz como por las hojas. Las necesidades cuantitativas son pequeñas, pero fluctúan más que para cualquier otro micronutriente. Existe en varios estados de oxidación en la naturaleza (Mn^{2+} , Mn^{3+} y Mn^{+}), pero es absorbido fundamentalmente como ion Mn^{2+} (Tabla 9) (Food and Agriculture Organization of de United States (FAO), 1994).

Tabla 9. Forma y dosis de aplicación de los microelementos

Elemento	Rango Adecuado	Recomendación al Suelo		Recomendación
		Suelos ácidos (pH<7.0)	Suelos alcalinos (pH>7.0)	
Mn	10-250	5 kg/ha	10 kg/ha	0.50 kg/ha

Fuente: (Laboratorio de Edafología 2008).

- f. Cinc (Zn): es importante en las reacciones de crecimiento de las plantas y formación de clorofila y carbohidratos (Burges et al., 2012).

Se encuentra en minerales ferromagnésicos (magnetita, biotita) puede ser liberado por intemperización. Es absorbido como catión divalente, Zn^{2+} , tanto por vía radicular como por vía foliar. También puede ser absorbido en forma de quelato (Tabla 10) (Tobías, 1993).

Tabla 10. Forma y dosis de aplicación del microelemento.

Elemento	Rango Adecuado	Recomendación al Suelo		Recomendación
		Suelos ácidos (pH<7.0)	Suelos alcalinos (pH>7.0)	
Zn	2-25	4 kg/ha	6 kg/ha	0.50 kg/ha

Fuente: (Laboratorio de Edafología 2008).

- g. Sodio (Na): El sodio se encuentra en el suelo en estado combinado y principalmente en forma de sales. Los suelos sódicos contienen alta cantidad de Sodio intercambiable y bajo nivel de sales solubles. El exceso de Sodio intercambiable tiene efecto adverso sobre el crecimiento de plantas y estructura del suelo. Su resultado se traduce en reducción en los rendimientos de cultivos (Primo & Carrasco, 1998).

3.5 Clasificación de tierra por capacidad de uso

Se entiende por capacidad de uso de la tierra, la capacidad natural de una determinada clase de tierra para ser usada en determinada función produciendo determinados bienes o servicios, incluyendo los de protección y ecológicos (Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, 1997).

La clasificación y evaluación de los suelos son fundamentales para el ordenamiento territorial y la planificación económica de cualquier región y utilizar técnicamente las tierras con vocación agropecuaria, forestal, para una ejecución de proyectos, como agroindustriales y otros planes de desarrollo del sector agropecuario (Alvarado, 1998).

La clasificación de tierras según su capacidad de uso, se basa en los efectos combinados de clima y las características permanentes de los suelos. Esta clasificación, une a los suelos basándose en rasgos del terreno superficial y en las propiedades de los suelos que pueden

ser evaluadas por observación y clasificándolos en tres categorías de tierras, clases, subclases y unidades (Vargas, 1999).

Existen muchas clases individuales de suelos, aunque en el ambiente no se los encuentre como unidades separadas, por eso es importante establecer los límites dentro de los cuales deben ser estudiados. Las características de cada uno pueden conocerse a través de las observaciones e investigaciones de gabinete, campo y laboratorio. Su reconocimiento, clasificación y representación cartográfica es lo que se le llama mapa de suelos. (Bocco & Mendoza, 1999)

La información suministrada por un mapa de suelo sirve, entre otras cosas, para: determinar la capacidad de uso de la tierra y orientar alternativas de uso bajo ciertos niveles de manejo, dar bases técnicas para encarar líneas de investigación y experimentación agropecuaria, planificar el uso racional del suelo adecuando a las prácticas de manejo y conservación a las exigencias a las distintas clases de tierra para lograr una mayor y sostenida productividad, establecer áreas de recuperación y habilitación de tierras afectadas por erosión, salinidad, alcalinidad, entre otros, y por ultimo establecer con criterio técnico las áreas de conservación de suelos (Bocco & Mendoza, 1999).

Los mapas de suelos están destinados principalmente con el propósito de ayudar a conocer mejor sus tierras y contribuir a que las manejen en forma adecuada, aumentando su nivel de aprovechamiento asesoramiento y manejo de campo (Donahue & Schickluna, 2000).

Para el estudio de suelos en el campo se requieren un mínimo de 10 sub muestras para formar una muestra compuesta de una hectárea. El número de muestras compuestas requeridas para representar un campo depende la uniformidad de este. Las variaciones en profundidad, topografía, textura drenaje, color de la capa superior y anterior, manejo de varias partes necesitan muestras compuestas adicionales en cada área (Donahue & Schickluna, 2000).

Las interpretaciones del análisis de suelo están basadas en la relación entre el análisis y la respuesta que pueda esperarse. Tales relaciones son el resultado de un vasto número de comparaciones de respuestas en el campo y valores del análisis de suelo. Para ello se emplearán dos metodologías sobre uso de la capacidad de la tierra, tales como: Clasificación de Tierras por capacidad de uso del Instituto nacional de Bosques INAB y Metodología del Departamento de Agricultura de Estados Unidos USDA (Instituto Nacional de Bosques de Guatemala (INAB), 2000)

3.6 Clasificación de tierras por capacidad de uso por el Instituto Nacional de Bosques de Guatemala (INAB)

El Instituto Nacional de Bosques de Guatemala (INAB) adoptó una metodología que combina algunos principios, conceptos y procedimientos de los sistemas o esquemas del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), T.C. Sheng y sus modificaciones, y del Centro Científico Tropical de Costa Rica (C.C.T.).

De acuerdo a la metodología del Instituto Nacional de Bosques de Guatemala (INAB) los suelos de San Miguel Ixtahuacán, San Marcos están agrupados en: agricultura sin limitaciones, agroforestería con cultivos permanentes, agroforestería con cultivos anuales y tierras forestales de producción (Instituto Nacional de Bosques de Guatemala (INAB), 2000).

3.6.1 Descripción de las variables físicas

La metodología del Instituto Nacional de Bosques de Guatemala (INAB) utiliza variables físicas tales como: pendiente, profundidad efectiva del suelo, pedregosidad y drenaje, las cuales se describen a continuación:

- a. Pendiente: se refiere al grado de inclinación de los terrenos (unidad de tierra) expresado en porcentajes. Los rangos de pendientes son variables dentro de cada una de las regiones naturales que se han definido en la presente metodología.

- b. Profundidad efectiva del suelo: se refiere a la profundidad máxima del suelo susceptible de ser penetrada por sistemas radicales de plantas, nativas o cultivadas, dentro de toda la gama de usos agropecuarios y forestales posibles. No se considera parte de la profundidad efectiva horizontes "R" o capas endurecidas en forma natural o por efectos de la labranza. Se considera como limitante de la profundidad, las capas endurecidas cuya dureza no permitan ser rayadas (en estado seco). En forma práctica, la mayoría de capas "R" del suelo o bien los horizontes parcialmente alterados que no permiten la penetración de las raíces, son las que determinan la profundidad efectiva dentro del suelo. La profundidad efectiva, también está limitada por capas freáticas cercanas a la superficie del suelo.
- c. Pedregosidad: se refiere a la presencia de fracciones mayores a las gravas (0.045 metros de diámetro) sobre la superficie del suelo y dentro del perfil del mismo. Incluye afloramientos rocosos, ya sea de materiales de origen o transportados como materiales aluviales (Instituto Nacional de Bosques de Guatemala (INAB), 2000)

3.6.2 Categorías de capacidad de uso según INAB

Las categorías de capacidad de uso que se emplea en la metodología del (INAB), se ordenan en forma decreciente en cuanto a la intensidad de uso soportable sin poner en riesgo la estabilidad física del suelo. Bajo este contexto, las categorías son las siguientes:

- a. Agricultura sin limitaciones (a):
Áreas con aptitud para cultivos agrícolas sin mayores limitaciones de pendiente, profundidad, pedregosidad o drenaje. Permiten cultivos agrícolas en monocultivo o asociados en forma intensiva o extensiva y no requieren o, demandan muy pocas, prácticas intensivas de conservación de suelos. Pueden ser objeto de mecanización.
- b. Agricultura con mejoras (am):
Áreas que presentan limitaciones de uso moderadas con respecto a la pendiente, profundidad, pedregosidad o drenaje. Para su cultivo se requieren prácticas de manejo y

conservación de suelos, así como medidas agronómicas relativamente intensas y acordes al tipo de cultivo establecido.

c. Agroforestería con cultivos anuales (aa):

Áreas con limitaciones de pendiente o profundidad efectiva del suelo, donde se permite la siembra de cultivos agrícolas asociados con árboles o con obras de conservación de suelos y prácticas o técnicas agronómicas de cultivo.

d. Sistemas silvopastoriles (ss):

Áreas con limitaciones de pendiente o profundidad, drenaje interno que tienen limitaciones permanentes o transitorias de pedregosidad o drenaje. Permiten el desarrollo de pastos naturales o cultivados o asociados con especies arbóreas.

e. Agroforestería con cultivos permanentes (ap):

Áreas con limitaciones de pendiente y profundidad, aptas para el establecimiento de sistemas de cultivos permanentes asociados con árboles (aislados, en bloques o plantaciones, ya sean especies frutales y otras con fines de producción de madera y otros productos forestales).

f. Tierras forestales para producción (f):

Áreas con limitaciones para usos agropecuarios de pendiente o pedregosidad, con aptitud preferente para realizar un manejo forestal sostenible, tanto del bosque nativo como de plantaciones con fines de aprovechamiento, sin que esto signifique el deterioro de otros recursos naturales. La sustitución del bosque por otros sistemas conllevaría a la degradación productiva de los suelos.

g. Tierras forestales de protección (fp):

Áreas con limitaciones severas en cualquiera de los factores limitantes o modificadores; apropiadas para actividades forestales de protección o conservación ambiental exclusiva. Son tierras marginales para uso agrícola o pecuario intensivo. Tienen como objetivo preservar el ambiente natural, conservar la biodiversidad, así como las fuentes de agua.

Estas áreas permiten la investigación científica y el uso ecoturístico en ciertos sitios habilitados para tales fines, sin que esto afecte negativamente el o los ecosistemas presentes en ellas. También se incluyen las áreas sujetas a inundaciones frecuentes y otros ecosistemas frágiles (Instituto Nacional de Bosques de Guatemala (INAB), 2000).

3.7 Clasificación de suelo según metodología del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)

Una unidad de mapeo es una porción del paisaje suelo que tiene características similares y cuyos límites son fijados por medio de definiciones precisas. La unidad de mapeo provee la máxima información detallada, debido a que la metodología del Departamento de Agricultura de Estados Unidos –USDA- clasifica al área de estudio como tipo VII. Este estudio es la base para proceder a efectuar todas las agrupaciones de suelos dentro de la clase de tierra que agrupa la metodología del Departamento de Agricultura de Estados Unidos –USDA-; proveerá la información necesaria para desarrollar unidades de capacidad, grupos para lotes dedicados a bosques, grupos para sitios (pastoreo extensivo) grupos para fines de ingeniería y otros grupos interpretativos.

Con el objeto de actualizar a nivel de detalle la clasificación de los suelos en el área de estudio, se puede tomar como base la clasificación y criterios que emplea la metodología del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) para uso de la capacidad del suelo (United States Department of Agricultura (USDA-ARS), 1998) (anexo 2).

Las metodologías anteriormente expuestas, tanto del INAB, como de USDA, son las más empleadas en el medio Guatemalteco, debido a que hacen referencia más claramente a las características del área Guatemalteca.

4. Justificación

Es de gran importancia el conocimiento de los suelos del territorio guatemalteco, tanto para las autoridades como para los pobladores y otras entidades que le puedan dar uso, ya que esta sustancia natural es la base de la producción y explotación mineral. Este será un aporte de significativo valor para las autoridades y pueblo de los dos municipios, ya que conocerán las peculiaridades de su suelo, y se le podrá dar un mejor uso; el valor también es para la academia, ya que se coloca en práctica los conocimientos y se devuelve a la sociedad un estudio de calidad profesional que es sustento y base de nuevo conocimiento.

La importancia de realizar investigaciones fisicoquímicas en los suelos de los municipios de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa del departamento de San Marcos, es describir los factores limitantes sobre su uso y capacidad de acuerdo a sus características fisicoquímicas, ya que en la actualidad en el país no se cuenta con estudios o información que brinde dichos datos.

Estudiar la clasificación fisicoquímica de elementos mayores y menores del suelo proporcionará información de los nutrientes disponibles para el crecimiento de bosques y el potencial de los mismos para el desarrollo agrícola y sostenibilidad ecológica. Esto servirá de base para la planeación y ejecución de programas de desarrollo agropecuario e instituciones que llevan a cabo estudios sobre la capacidad de uso de la tierra.

5. Objetivos

5.1 General

Clasificar los suelos de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos, mediante el análisis fisicoquímico de elementos mayores y menores.

5.2 Específico

5.2.1 Realizar el muestreo de un conjunto de puntos de suelo del área delimitada durante la época seca y lluviosa, durante 7 meses.

5.2.2 Clasificar los suelos según de los criterios de tierra del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) y del Instituto Nacional de Bosques de Guatemala (INAB).

5.2.3 Determinar la capacidad potencial de los suelos de los municipios de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos, según los criterios USDA.

6. Materiales y métodos

6.1 Universo

Se clasificó fisicoquímicamente los elementos mayores y menores de los suelos de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa del departamento de San Marcos, mediante la toma de muestras los suelos en 60 puntos del área delimitada, teniendo planificado realizar el muestreo en la época seca y lluviosa durante 7 meses.

6.2 Recursos

6.2.1 Humanos

- a. Seminaristas:** Br. Sury López
Br. Luis Sánchez
- b. Asesores:** Dra. Karin Herrera
Ing. Oliver Cano
- c. Revisores:** M.Sc. Sergio Lickes

6.2.2 Institucionales

- a. Laboratorio de suelos “Salvador Castillo Orellana”, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía.
- b. Laboratorio de Análisis Fisicoquímico de mina Marlin San Miguel Ixtahuacán, San Marcos, Guatemala.

6.2.3 Equipo y materiales

- a. Barreno
- b. Boletas para la toma de datos

- c. Bolsas de papel
- d. Cinta métrica
- e. Cronómetro
- f. Cubetas
- g. Etiquetas
- h. Mapa de cobertura de Mina Marlin octubre de 2,012 (ver anexo 3)
- i. Pala corriente
- j. Agitador magnético de 180 rpm
- k. Agua destilada
- l. Mufla, horno y estufa
- m. Papel filtro Whatman No. 2
- n. Parafilm
- o. Pinzas para bureta
- p. Pizetas
- q. Tamiz de 2 mm
- r. Soporte de 75 cm
- s. Computadora e impresora
- t. Equipo de campo (conductímetro, potenciómetro y GPS Trimble)
- u. Fotocolorímetro
- v. Balanza de plato sensibilidad de 0.1 g
- w. Centrífuga

6.2.4 Reactivos

- a. Ácido clorhídrico (HCl)
- b. Ácido fosfórico al 85% (H₃PO₄)
- c. Ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄)
- d. Carbonato de calcio (Ca₂CO₃)
- e. Cloruro amónico (NH₄Cl)
- f. Cloruro bórico hidratado (BaCl₂ H₂O)
- g. Dicromato de potasio 1N (K₂Cr₂O₇)
- h. Difenilamina al 0.4% (C₁₂H₁₁N)

- i. Etilendiaminotetracetato bisódico ($C_{10}H_{16}N_2O_8$)
- j. Hidróxido de sodio (NaOH)
- k. Negro de ericromo T ($C_{20}H_{12}N_3O_7SNa$)
- l. Rojo de metilo ($C_{15}H_{15}N_3O_2$)
- m. Sulfato ferroso amoníaco 0.5N ($FeSO_4 \cdot H_2O$)
- n. Sulfato magnésico ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)
- o. Trietanolamina 8N ($C_6H_{15}NO_3$)
- p. Verde de bromocresol ($C_{21}H_{14}Br_4O_5S$)

6.2.5 Cristalería

- a. Beacker de 100 mL
- b. Bureta de 50cc y 50 mL
- c. Cápsula de porcelana de 5 cm. de diámetro
- d. Cilindro cónico
- e. Embudos
- f. Erlenmeyer de 500cc, 50 y 250 mL
- g. Frasco Mason
- h. Hidrómetro (Bouyouco)
- i. Matraz aforado
- j. Pipetas de 2l ,10 y 1 mL
- k. Probetas de 100, 25 y 10 mL
- l. Termómetro
- m. Tubos de centrifuga
- n. Varilla de vidrio

6.3 Metodología

La metodología se desarrolló, a través del asesoramiento, capacitación del personal experto en clasificación fisicoquímica de suelos.

6.3.1 Primera fase de gabinete

a. Reconocimiento del área de estudio

Para reconocer el área de estudio, se utilizó la carretera Interamericana y en el kilómetro 241 ruta hacia Huehuetenango se tomó un desvío que conduce hasta el área determinada, de igual forma se identificó las entradas, el tipo de suelo, las áreas boscosas, personas encargadas del área de estudio.

La comunidad San José Nueva Esperanza, se encuentra ubicada a 8 km de la cabecera municipal de San Miguel Ixtahuacán y a 70 km aproximadamente de la cabecera departamental de San Marcos, cuenta con la carretera Interamericana CA-2 transitable todo el año (Cano, 2005).

6.3.2 Fase de campo

a. Verificación de los límites de las unidades de mapeo

Esta actividad se realizó por caminamientos y observaciones visuales. Se homogenizaron las distintas unidades de muestreo, basado en sus criterios fisiográficos, cuya base principal es el relieve. En tal caso, la clasificación se hizo a nivel de elementos de paisaje, y se usaron los diferentes criterios de clasificación de la tierra.

b. Chequeo del mapa de ubicación de mina Marlin

Se procedió a verificar o modificar el mapa de ubicación de mina Marlin con el objetivo de definir unidades de mapeo.

c. Estimación de las variables físicas

Se determinó empíricamente con base a los rangos de referencias, los cuales se confirmaron con pruebas de laboratorio, y los resultados se compararon con los parámetros establecidos que utiliza la metodología del (Instituto Nacional de Bosques de Guatemala (INAB), 2000) y el (United States Department of Agricultura (USDA-ARS), 1998) Departamento de

Agricultura de Estados Unidos de Norte América USDA por sus siglas en inglés, las cuales se describirán a continuación.

- a. Profundidad:
 - muy profundo: >90 cm,
 - profundo: 50-90 cm,
 - poco profundo: 25-50 cm,
 - muy poco profundo: <25 cm.
- b. Textura: muy gruesa, gruesa, poco fina, fina.
- c. Permeabilidad: libremente permeable: 6cm/ h, permeable: 2.4-6cm, lentamente permeable: 1.2-2.4 cm/h, muy lentamente permeable: 0.024-1.2 cm/h, impermeable: <0.024 cm.
- d. Pendiente: inclinación mínima: 4%, inclinación leve: 8%, inclinación moderada: 12%, muy inclinada: 24%, altamente inclinada: 32%.
- e. Relieve: plano, ondulado.
- f. Estructura: granular, migajosa, bloques.
- g. Erosión: imperceptible: <12.5% de horizonte, moderada: 35% de horizonte, moderada severa: 60%, severa: 60-80%, muy severa: 80-100.
- h. Drenaje: peligro de inundación, sin peligro de inundación.
- i. Zona de restricción: existe, no existe.
- j. Nivel freático: muy profundo: >150 cm, profundo: 90-150cm, moderadamente profundo: 60-90cm, superficial: 25-50 cm, muy superficial: <25 cm.
- k. Fertilidad: alta, moderada, baja.
- l. Humedad: alta, moderada, baja.
- m. Pedregosidad: muy poca pedregosidad, moderada pedregosidad, fragmentos rocosos o sueltos.
- n. Cobertura de malezas: significativa, no significativa.
- o. Uso de la tierra: agricultura sin limitaciones, agroforestería en cultivos anuales, agroforestería con cultivos permanentes, tierras forestales de producción.
- p. Mecanización: fácilmente mecanizable, no mecanizable.

d. Muestreo del suelo

- a. El área que se muestreo fue representativa a cada sección.
Se muestrearon por separado áreas con suelos de distinto color, textura, pendiente y manejo en forma de zig-zag (anexo 4).
- b. Las muestras se recolectaron con un barreno y pala previamente limpios y libres de impurezas.
- c. Se cavó un agujero pequeño en forma de V, de 20 a 30 cm de profundidad. Se limpió el fondo, y se cortó con la pala una porción fina de suelo de arriba hacia abajo. De la rebanada se despreciaron los bordes, recogiendo sólo la parte central (anexo 4).
- d. Se mezclaron todas las muestras simples (obtenidas en cada agujero), y se desterraron. Es importante que en cada agujero se obtenga, aproximadamente, la misma cantidad de suelo, e igualmente repartida entre todo el intervalo que constituya la profundidad del suelo.
- e. Las muestras que se recolectaron fueron depositadas en bolsas de papel, debidamente etiquetadas (anexo 4).
- f. Se realizaron anotaciones en boleta para datos de campo (anexo 4).
- g. Cada muestra compuesta estuvo formada por 10 “submuestras”, por hectárea, de acuerdo al mapeo de suelos.
- h. Cada muestra fue aproximadamente de dos libras de peso las cuales se llevarán al laboratorio para el análisis fisicoquímico (Jackson, 1990).

e. Análisis en el laboratorio

En el laboratorio a cada muestra de suelo se le determinó los siguientes parámetros:

- a. pH: la lectura se realizó mediante el potenciómetro, el cual superó en exactitud a los métodos colorimétricos. La medida del pH del suelo exige humedecimiento, como punto recomendable se utilizó el punto de saturación con la relación suelo/agua= 2:4 (anexo 5).

- b. Textura (g/l): se determinó utilizando un densímetro del tipo bouyoucos, es la concentración de sólidos totales en la suspensión, indicada por la escala del densímetro a los 40 segundos después de la agitación, el mismo correspondió a partículas de diámetro menor o igual a 0.02 mm (arcilla y limo) y la indicada a las 2 horas correspondió a partículas de diámetro menor o igual a 2 μ m (arcilla).

Por lo tanto, la lectura se realizó a las 2 horas y se indicó la concentración de arcilla en la suspensión, y al restar esta cantidad de la correspondiente a los 40 segundos se obtuvo la concentración de limo. El contenido de arena se calculó por diferencia entre el peso total del suelo y el peso del conjunto de arcilla y limo (anexo 5).

- c. Elementos disponibles: se determinó basado en el método de Mehlich 1, también conocido como método del doble ácido diluido o extractante de Carolina del Norte, se utilizó principalmente como un agente de extracción de múltiples elementos como P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn. El método Mehlich 1 extrae el fósforo combinado con el aluminio, el hierro y en forma de fosfatos de calcio y además se adapta mejor a los suelos ácidos ($\text{pH} < 6,5$) con escasa capacidad de intercambio catiónico y con contenido de materia orgánica menor al 5%. (anexo 5)
- d. Materia orgánica: se determinó según el método de Walkley y Black, se basó en la oxidación de la materia orgánica del suelo con dicromato de potasio y posterior valoración del exceso de dicromato añadido con sal ferrosa. La concentración del dicromato es de 1N; el medio ácido necesario para la oxidación de la materia orgánica, se consiguió con H_2SO_4 concentrado, la temperatura necesaria se alcanzó con el calor desarrollado por el H_2SO_4 concentrado al añadirlo a la solución acuosa. Como indicador de óxido-reducción se utilizó difenilamina. Se debe utilizar la sal ferrosa (sulfato ferroso amónico); como todas las sales ferrosas, se oxida a férrica por la simple acción del aire y es necesario contrastar, en cada sesión de análisis, su normalidad; esta contrastación se realizó valorando con el sulfato ferroso amónico aproximadamente 0.5N de concentración, un volumen de dicromato igual al añadido a las muestras. (anexo 5).

- e. Capacidad de intercambio catiónico: se analizó en base al desplazamiento de los cationes de cambio por una solución acuosa de una sal de un ácido débil, como cloruro de bario seguido de una extracción y valoración del catión intercambiado (Primo & Carrasco, 1998).
- f. Método de cloruro bórico- trietanolamina: Se extrajeron los iones del suelo con una solución del cloruro bórico y trietanolamina (solución de cambio A), con el fin de reemplazar todos los cationes por bario. Se reemplazó el Ba^{2+} fijado, por Mg^{2+} , mediante una solución de sulfato magnésico (solución de cambio B). Determinación del Mg^{2+} invertido en reemplazar al Ba^{2+} , por valoración del Mg^{2+} presente en una parte alícuota del extracto obtenido con la solución del sulfato magnésico y cálculo de la diferencia con el contenido original de dicha solución. (anexo 5).
- g. Conductividad eléctrica: la lectura se realizó mediante un conductímetro el cual midió la conductividad eléctrica específica de un suelo en un extracto acuoso del mismo, como punto recomendable se utilizó el punto de saturación con la relación suelo/agua= 1:5. (anexo 5).
- h. Densidad aparente: se midió porque es importante para el manejo de los suelos, además reflejó la compactación y la facilidad de circulación de agua y aire (anexo 5).

6.3.3 Segunda fase de gabinete

- a. Se analizó e integró toda la información recabada tanto a nivel de campo como a nivel de laboratorio y de los diferentes mapas temáticos del área de estudio.
- b. Se clasificaron los suelos, mediante el análisis fisicoquímico de elementos mayores y menores.
- c. Se elaboraron las recomendaciones de uso potencial de los suelos del área.

7. Diseño y análisis estadístico

7.1 Población y muestra

Población: Municipio de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos.

Muestra: Suelos de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos.

Unidad de muestreo: Unidad fisiográfica del suelo a través de la pendiente del mismo.

A continuación se presenta las coordenadas de los puntos tomados como un acercamiento al área de estudio.

Tabla 11: Unidad de análisis

Unidad de muestra No.	Ubicación/Coordenadas
1	X: 370343 Y: 1684782
2	X: 370234 Y: 1684782
3	X: 370236 Y: 1784782
4	X: 641321 Y: 16850214
5	X: 641576 Y: 1684799
6	X: 641729 Y: 1685424
7	X: 641760 Y: 1685688
8	X: 641722 Y: 1686147
9	X: 641291 Y: 1684921
10	X: 641470 Y: 1684666
11	X: 641396 Y: 1684627
12	X: 641529 Y: 1685803
13	X: 641330 Y: 1684648
14	X: 641264 Y: 1684672
15	X: 640699 Y: 1684613
16	X: 640852 Y: 1684624
17	X: 640524 Y: 1684496
18	X: 640862 Y: 1684537
19	X: 640819 Y: 1684465
20	X: 640460 Y: 1684673
21	X: 640926 Y: 1685072
22	X: 640990 Y: 1685073
23	X: 640916 Y: 1685190
24	X: 640968 Y: 1685203
25	X: 640849 Y: 1685016
26	X: 640728 Y: 1685077
27	X: 641044 Y: 1685714
28	X: 640824 Y: 1685407
29	X: 640549 Y: 1685171
30	X: 640302 Y: 1684921
31	X: 640192 Y: 1684903
32	X: 641264 Y: 1684586
33	X: 639182 Y: 1684146
34	X: 639217 Y: 1684047
35	X: 639358 Y: 1684086
36	X: 639493 Y: 1684026
37	X: 739671 Y: 1684022
38	X: 640109 Y: 1684704

Unidad de muestra No.	Ubicación/Coordenadas
39	X: 640208 Y: 1683790
40	X: 641033 Y: 1683699
41	X: 641902 Y: 1683928
42	X: 641938 Y: 1684062
43	X: 641857 Y: 1684131
44	X: 641115 Y: 1685381
45	X: 640835 Y: 1685240
46	X: 640376 Y: 1683947
47	X: 640537 Y: 1684005
48	X: 640624 Y: 1684041
49	X: 640720 Y: 1684211
50	X: 639333 Y: 1684471
51	X: 639440 Y: 1684321
52	X: 639527 Y: 1684631
53	X: 639525 Y: 1684633
54	X: 639529 Y: 1684642
55	X: 641889 Y: 1686357
56	X: 641593 Y: 1686209
57	X: 641625 Y: 1686237
58	X: 641841 Y: 1686275
59	X: 640046 Y: 1684317
60	X: 640281 Y: 1684768

Fuente (Laboratorio de análisis fisicoquímico de mina Marlin, 2013)

7.2 Variables de interés

7.2.1 Propiedades físicas

- a) pH
- b) Densidad aparente (Da)
- c) Porcentaje de humedad (%H)
- d) Clase estructural
- e) Capacidad específica (CE)

7.2.2 Propiedades químicas

Macroelementos

- a) Saturación de bases (SB)
- b) Materia orgánica (MO)
- c) Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE)
- d) Nitrógeno (N)
- e) Fósforo (P)
- f) Potasio (K)

Microelementos

- a) Cobre (Cu)
- b) Hierro (Fe)
- c) Calcio (Ca)
- d) Magnesio (Mg)
- e) Manganeseo (Mn)
- f) Zinc (Zn)
- g) Sodio (Na)

7.3 Análisis de resultados

Los resultados se analizaron, elaboraron y simplificaron lo necesario para que fueran interpretados cómoda y rápidamente a través de tablas y gráficas.

8. Resultados

El estudio consistió en el análisis de 60 muestras de suelo en el área de estudio entre San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa del departamento de San Marcos.

En la Tabla No. 12 y en las gráficas de la 1 a la 6, se observan las propiedades físicas, macroelementos y microelementos de los suelos los cuales fueron objetos de estudio.

En el estudio se consideraron 60 muestras de suelo, repartidas por toda la extensión de los territorios de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa; los datos refieren un suelo con pH ligeramente ácido, los mismos con valores menores a 6. Los macroelementos refieren suelos con altas concentraciones de fósforo y en algunas muestras se pueden catalogar también como ferrosos debido a las concentraciones de hierro, así como altas concentraciones de manganeso. La saturación de bases refiere promedios cercanos a los 60%, la materia orgánica refiere suelos que no supera 10% y con valores de nitrógeno cercano al 0.1 mg/Kg. El microelemento de mayor presencia se refiere a la capacidad de intercambio catiónico y los valores de sodio y potasio son muy estándares en relación a todas las muestras. Los valores siguientes son bajo parámetros de normalidad con casos atípicos de repuntes de humedad relativa y absoluta. En la composición predomina la arena y en menor cantidad la arcilla.

Tabla 12: Caracterización fisicoquímica de los suelos de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos

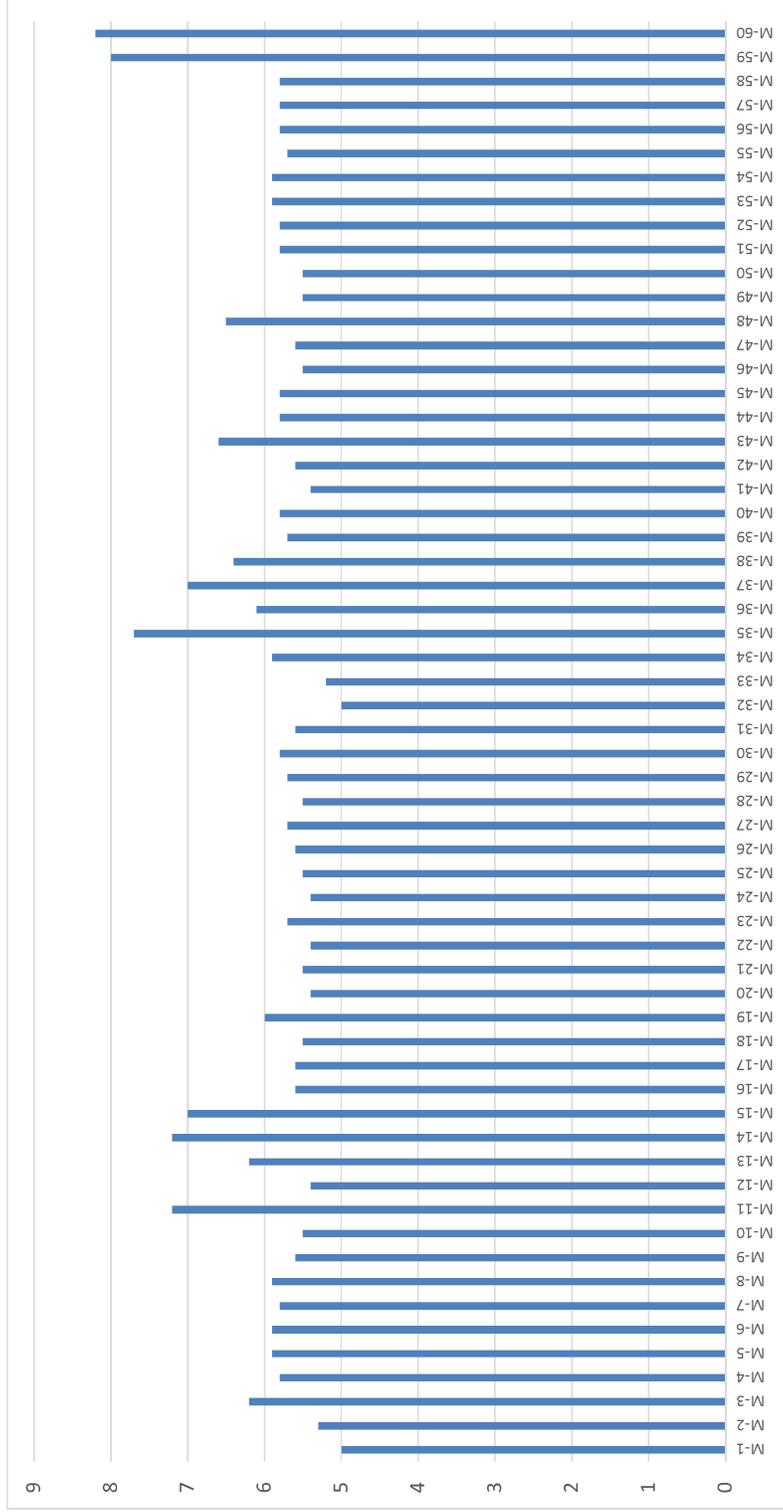
MUESTRA	pH	C.E*	µS/cm	mg/kg								Meq/100 g				%				CLASE TEXTURAL	COLOR*			
				P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC*	Ca	Mg	Na	K	SB*	MO*	N	Da*	Hr*	Ha*			Arcilla	Limo	Arena
M-1 COCHIS HoA	5	254.5		4.72	0.5	2	19	5	20	5.99	5.92	0.15	0.69	63.75	0.56	0.09	1.1765	25.19	16.02	25.75	22.34	51.91	FRANCO ARCILLO ARENOSO	10YR 7/6
M-2 COCHIS HoB	5.3	112.5		4.3	0.5	1	82.5	15	19.05	4.49	3.82	0.06	0.95	48.96	1.64	0.1	1.1765	23.76	13.94	32.05	30.74	37.21	FRANCO ARCILLOSO	10YR 6/4
M-3 PASTIZAL RELLENO	6.2	233		10.24	0.5	0.5	50.5	21	11.43	17.47	2.92	0.23	0.79	>100	0.2	0.07	1.0256	17.73	11.56	19.45	24.44	56.11	FRANCO ARENOSO	10YR 5/3
M-4 BMD CASA CUNA	5.8	152		3.09	1	0.5	65.5	34.5	11.9	6.99	2.22	0.1	0.51	82.45	1.31	0.09	1.0811	16.48	9.37	19.45	22.34	58.21	FRANCO ARENOSO	10YR 5/4
M-5 BMD LADO ESTE CASA CUNA	5.9	119		3	1	0.5	72	25.5	9.52	5.74	2.59	0.1	0.56	94.48	1.09	0.12	1.1111	16.75	9.21	19.45	24.44	56.11	FRANCO ARENOSO	10YR 6/3
M-6 BMD QUEBRADA SPILLWAY	5.9	107		3	1.5	0.5	173	33	10	3.99	1.4	0.09	0.44	59.13	1.64	0.14	1.0526	15.05	8	17.35	22.34	60.31	FRANCO ARENOSO	10YR 5/3
M-7 BMD GARTIA PRINCIPAL	5.8	132		2.85	1	0.5	52	31.5	9.52	3.74	1.81	0.07	0.67	66.03	1.05	0.22	1.1111	14.01	8.39	17.35	20.24	62.41	FRANCO ARENOSO	10YR 6/4
M-8 ENSAYO REPRESA	5.9	348		69.53	0.1	1	15	22.5	27.62	12.72	13.2	0.3	0.62	97.01	0.52	0.07	1.1429	23.72	14.91	25.75	26.54	47.71	FRANCO ARCILLO ARENOSO	10YR 7/3
M-9 BMD REPRESA DE COLAS	5.6	106.5		3.88	1	1	90	27.5	12.38	4.24	2.88	0.06	0.38	61.11	1.81	0.13	1.1429	21.17	11.64	27.85	28.64	43.51	FRANCO ARCILLO ARENOSO	10YR 6/4
M-10 BMD REPRESA DE COLAS	5.5	117		4.24	0.5	1.5	52	28.5	14.29	3.24	4.73	0.07	0.36	58.81	2.47	0.14	1.1765	20.94	11.01	21.55	30.74	47.71	FRANCO ARCILLO ARENOSO	10YR 6/6
M-11 AREA RECUPERADA	7.2	600		64.45	0.5	1.5	111.5	66.5	18.57	12.96	5.51	0.1	0.36	>100	0.37	0.07	1.2121	21.08	12.21	21.55	24.44	54.01	FRANCO ARCILLO ARENOSO	10YR 7/3
M-12 BMD REPRESA DE COLAS	5.4	133		4.6	1	1	66	28	11.9	3.24	2.26	0.07	0.31	49.41	1.91	0.1	1.1765	23.93	10.15	23.65	39.14	37.21	FRANCO	10YR 7/4
M-13 BMD REPRESA DE COLAS	6.2	205		16.41	1	1.5	32.5	60	12.86	7.24	2.18	0.08	0.44	77.23	3.1	0.16	1.1111	26.48	10.96	21.55	37.04	41.41	FRANCO	10YR 6/2
M-14 ESCOMBREIRA PARTE BAJA	7.2	463		70.69	0.5	1.5	15	54	20.48	19.46	4.56	0.09	0.38	>100	0.41	0.07	1.2121	24.15	14.3	29.95	22.34	47.71	FRANCO ARCILLO ARENOSO	10YR 6/3
M-15 ESCOMBREIRA PARTE BAJA	7	475		68.63	1	1.5	28	54	20.95	16.22	4.98	0.11	0.51	>100	0.6	0.07	1.0811	26.16	15.97	29.95	24.44	45.61	FRANCO ARCILLO ARENOSO	10YR 7/3
M-16 BMD REPRESA SOMERA	5.6	111.5		4.91	1	1.5	43	35	16.67	4.24	4.52	0.08	0.46	55.83	2.09	0.1	1.1765	22.06	11.66	23.65	26.54	49.81	FRANCO ARCILLO ARENOSO	10YR 6/4
M-17 BMD CANAL DE ESCOMBREIRA	5.6	136		3.94	0.1	1	58	46	14.29	3.99	3.37	0.11	0.38	55.03	3.2	0.14	1.1429	20.16	10.47	19.45	26.54	54.01	FRANCO ARENOSO	10YR 6/3
M-18 BMD INTERSECCION ESCOMBREIRA	5.5	132		3.27	0.5	1	22	34.5	15.24	16.22	5.26	0.09	0.54	>100	0.75	0.08	1.2121	20.96	30.3	19.45	24.44	56.11	FRANCO ARENOSO	10YR 7/4
M-19 ESCOMBREIRA PARTE ALTA	6	254.5		39.55	0.1	1	12.5	24.5	22.38	11.23	7.11	0.12	0.49	84.67	0.37	0.07	1.1765	25.68	16.53	29.95	22.34	47.71	FRANCO ARCILLO ARENOSO	10YR 7/3
M-20 BMD VENADOS DECK	5.4	131.5		5.09	0.5	3	92.5	32.5	11.9	2.74	1.73	0.08	0.41	41.66	3.74	0.14	1.1111	25.89	11.86	25.75	30.74	48.51	FRANCO	10YR 7/2
M-21 BMD PARTE BAJA DECK	5.5	103.5		3.21	1	1	70	16	17.14	3.99	3.62	0.14	0.46	47.9	1.6	0.1	1.2903	24.58	15.45	38.35	24.44	37.21	FRANCO ARCILLOSO	10YR 7/4
M-22 BMD LADO ESTE DECK	5.4	112.5		3.15	0.5	0.5	51	2.5	11.9	1.25	1.03	0.03	0.38	22.64	3.45	0.13	1.1429	25.29	10.97	34.15	34.94	30.91	FRANCO ARCILLOSO	10YR 7/2
M-23 BMD PARTE BAJA ESTE DECK	5.7	125.5		3.21	0.5	0.5	180	14.5	10.95	2.5	1.77	0.07	0.44	43.54	3.36	0.14	1.0526	29.64	12.38	23.65	26.54	49.81	FRANCO ARCILLO ARENOSO	10YR 7/1
M-24 BMD LADO OESTE DECK	5.4	100.5		3.39	0.5	1	36.5	6	9.05	0.75	1.15	0.06	0.36	25.64	2.05	0.1	1.2121	21.73	9.32	21.55	28.64	49.81	FRANCO	10YR 7/4
M-25 BMD GRUPO HERGO	5.5	100		3.03	0.5	1.5	20.5	12	14.29	2.25	3.58	0.08	0.36	43.82	1.64	0.09	1.1429	19.35	11.53	25.75	20.24	54.01	FRANCO ARCILLO ARENOSO	10YR 8/3
M-26 PASTIZAL LADO ESTE PISTA	5.6	135		2.61	1	1	60.5	46	14.76	4.49	3.21	0.09	0.59	56.73	1.51	0.09	1.1765	25.67	15.17	27.85	26.54	45.61	FRANCO ARCILLO ARENOSO	10YR 7/3
M-27 BMD LADO ESTE PISTA	5.7	97.5		3.03	0.5	2.5	49.5	36.5	8.57	2.74	1.73	0.06	0.41	57.67	1.85	0.1	1.3793	18.64	9.37	21.55	24.44	54.01	FRANCO ARCILLO ARENOSO	10YR 6/3
M-28 BMD LADO SURESTE PISTA	5.5	91		2.67	0.5	27.5	62	50	10.95	2	1.73	0.05	0.38	37.98	1.64	0.1	1.2903	23.48	13.16	38.35	24.44	37.21	FRANCO ARCILLOSO	10YR 7/2
M-29 BMD LADO SURESTE PISTA	5.7	123		2.42	1	1	77.5	45	10.48	2.74	1.73	0.05	0.21	45.14	1.66	0.1	1.3793	18.43	12.07	29.95	22.34	47.71	FRANCO ARCILLO ARENOSO	10YR 4/4
M-30 BMD BODEGA DE NUCLEOS	5.8	153		2.78	1.5	1	74.5	43.5	8.1	2.74	1.36	0.07	0.21	54.06	1.71	0.09	1.1765	14.36	7.71	17.35	20.24	62.41	FRANCO ARENOSO	10YR 4/2

MUESTRA	pH	µS/cm	C-EP	mg/kg								Meq/100 g						%			CLASE TEXTURAL	COLOR*		
				P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC*	Cu	Mg	Na	K	SB*	MO*	N	H+	H+	Arcilla	Limo			arena	
M-31 BMD LADO SUR	5.6	176.5	5	3.51	0.5	1	4.5	33	11.9	3.99	2.26	0.11	0.46	57.36	2.61	0.11	1.0526	22.17	21.41	25.75	28.64	45.61	FRANCO ARENOSO	10YR 7/2
M-32 COCHIS/Ho TRANSICION	5	166.5	5	2.38	0.5	1.5	100	6	26.19	1.5	2.26	0.11	0.38	16.25	3.42	0.16	0.9756	29.29	16.7	28.81	22.34	48.85	FRANCO ARCILLO	10YR 6/3
M-33 BOSQUE MIXTO PARTE ALTA 1	5.2	106	5	1.47	0.5	1	75	8.5	26.67	1.25	1.4	0.09	0.36	11.59	2.97	0.15	1.0526	25.84	17.63	35.01	18.14	48.85	FRANCO ARCILLO	10YR 7/4
M-34 BOSQUE MIXTO PARTE BAJA 1	5.9	97.5	5	9.49	0.5	1	19.5	27.5	21.43	6.74	7.07	0.19	0.41	67.25	1	0.09	1.1765	18.69	12.54	20.41	24.44	55.15	FRANCO ARCILLO	10YR 7/3
M-35 BOSQUE MIXTO PARTE BAJA 2	7.7	464	5	30.34	0.1	2.5	50.5	23.81	28.69	2.51	0.1	0.33	>100	2.04	0.13	1.1765	22.45	14.39	26.71	22.34	50.95	FRANCO ARCILLO	10YR 7/3	
M-36 BOSQUE MIXTO PARTE BAJA 3	6.1	102.5	5	50.98	0.1	0.5	24.5	15.5	29.05	12.23	4.98	0.2	0.31	60.97	0.67	0.09	1.25	21.5	15.03	26.71	22.34	50.95	FRANCO ARCILLO	10YR 7/3
M-37 BOSQUE MIXTO PARTE ALTA 2	7	201.5	5	41.23	1	1	38.5	53.5	30	17.71	5.35	0.15	0.44	78.81	1.18	0.11	1.1429	24.62	16.61	35.01	20.24	46.75	FRANCO ARCILLO	10YR 6/3
M-38 BOSQUE MIXTO PARTE BAJA 4	6.4	187.5	6	65.51	0.5	1.5	28	31	35.33	17.96	12.3	0.25	0.69	95.73	1.76	0.13	1.1111	26.07	18.12	28.81	22.34	48.85	FRANCO ARCILLO	10YR 6/2
M-39 BOSQUE MIXTO PARTE ALTA 3	5.7	120	5	10.5	0.5	0.5	15.5	15	55.24	17.71	19.3	0.18	0.87	68.97	1.25	0.08	1.0811	30.83	21.73	37.21	24.44	38.35	FRANCO ARCILLO	10YR 6/4
M-40 BOSQUE MIXTO PARTE BAJA 4	5.8	148	5	6.45	0.1	0.5	9	19.5	28.57	10.23	6.95	0.23	0.87	64	2.29	0.15	1.0526	21.87	16.5	35.11	24.44	40.45	FRANCO ARCILLO	10YR 7/2
M-41 PASTIZAL/E CAMPAMENTO 1	5.4	186	5	5.11	0.1	1.5	52.5	44	15.71	2.74	1.36	0.13	0.51	30.19	3.15	0.16	1.8889	15.91	11.53	12.01	24.44	63.55	FRANCO ARENOSO	10YR 6/1
M-42 PASTIZAL/E CAMPAMENTO 2	5.6	181	5	2.44	0.5	2	80	46	19.05	3.74	1.23	0.14	0.62	30.09	5.38	0.27	0.8696	24.01	12.14	14.11	28.64	57.25	FRANCO ARENOSO	10YR 5/2
M-43 PASTIZAL/ APIARIO	6.6	215	5	9.35	2	1.5	25	24.5	33.33	10.73	4.24	0.3	2.79	54.19	1.11	0.11	1.1111	29.45	22.5	26.71	20.24	53.05	FRANCO ARCILLO	10YR 6/6
M-44 PASTIZAL/ ESTABLO PISTA	5.8	196	5	1.69	1	1	64.5	58	20	4.99	2.63	0.23	0.69	42.7	1.07	0.08	1.0811	20.76	14.79	30.91	20.24	48.85	FRANCO ARCILLO	10YR 6/3
M-45 PASTIZAL/ ESTABLO PISTA	5.8	193	5	1.48	1	1	62	55.5	17.14	5.24	2.84	0.23	0.67	52.37	1.33	0.09	1.0811	20.37	14.32	35.01	22.34	44.65	FRANCO ARCILLO	10YR 6/3
M-46 BOSQUE MIXTO/ TRAS GENERADOR	5.5	127.5	5	9.39	0.5	0.5	46.5	16	19.05	4.99	3.74	0.14	0.41	48.73	1.44	0.09	1.1111	20.65	11.68	20.41	24.44	55.15	FRANCO ARCILLO	10YR 7/1
M-47 MIXTO/ CARRETERA A BOSQUE 1	5.6	117.5	5	2.34	1	1.5	60	27	20	4.74	3.04	0.14	0.31	41.15	2.29	0.17	1.1765	22.27	13.31	26.71	28.64	44.65	FRANCO ARCILLO	10YR 7/3
M-48 MIXTO/ CARRETERA A TUNEL 2	6.5	152.5	5	1.11	1	1	39.5	75	10.95	4.74	2.38	0.09	0.26	68.19	0.96	0.13	1.5793	18.34	12.9	33.01	18.14	48.85	FRANCO ARCILLO	10YR 5/6
M-49 MIXTO/ CARRETERA A TUNEL 3	5.5	178	5	0.65	1.5	1	67.5	150	14.29	2.5	1.11	0.23	0.41	29.75	1.87	0.16	1.2903	18.4	12.62	35.11	22.34	42.55	FRANCO ARCILLO	7.5YR 4/4
M-50 BOSQUE MIXTO/ COCHIS NUCLEO 1	5.5	148	5	1.45	2	1	63.5	155	20	3.49	1.19	0.1	0.26	25.23	1.41	0.16	1.25	21.87	15.91	43.51	22.34	34.15	ARCILLOSO	7.5YR 4/4
M-51 BOSQUE MIXTO/ COCHIS NUCLEO 2	5.8	324	5	0.45	1.5	0.5	47.5	59.5	20.48	4.99	1.73	0.21	0.59	36.7	0.48	0.15	1.25	23.53	17.67	56.11	18.14	25.75	ARCILLOSO	7.5YR 5/6
M-52 BOSQUE MIXTO/ COCHIS Ho A	5.8	96	5	0.21	1.5	1	47.5	4.5	21.43	3.49	2.51	0.17	0.62	31.65	0.92	0.13	1.0256	25.91	21.2	60.31	11.84	27.85	ARCILLOSO	7.5YR 4/6
M-53 BOSQUE MIXTO/ COCHIS Ho B	5.9	64	5	0.83	1	1	63	3	18.09	3.24	2.38	0.14	0.56	34.99	0.14	0.09	1.25	21.3	16.68	41.41	22.34	36.25	ARCILLOSO	10YR 6/6
M-54 BOSQUE MIXTO/ COCHIS TRANSICION C	5.9	100	5	0.44	1	0.5	27	9	11.43	2.5	1.56	0.14	0.28	39.19	0.21	0.07	1.3333	16.58	11.75	35.01	16.04	50.95	FRANCO ARCILLO	10YR 7/6
M-55 BOSQUE MIXTO/ GRANJA BAJA	5.7	88.5	5	1.43	0.1	0.5	103	3	7.14	0.75	0.57	0.11	0.28	21.19	1.07	0.08	1.2121	9.59	4.57	12.01	20.24	67.75	FRANCO ARENOSO	10YR 7/1
M-56 BOSQUE MIXTO/ GRANJA ALTA BOSQUE	5.8	108	5	1.29	0.1	0.5	29	13	10.48	2	0.62	0.11	0.31	28.96	2.33	0.11	1.0526	13.87	6.17	12.01	22.34	65.65	FRANCO ARENOSO	10YR 8/1
M-57 MIXTO/ GRANJA PLANA BOSQUE	5.8	122.5	5	2.92	0.1	1	54	45.5	9.52	2	0.95	0.12	0.49	37.28	2.08	0.15	1.2121	15.78	6.89	9.91	22.34	67.75	FRANCO ARENOSO	10YR 6/3
M-58 BOSQUE MIXTO/ ANTES DE QUEBRADA	5.8	139.5	5	2.2	1	1.5	58.5	31.5	14.76	2.5	1.36	0.1	0.51	30.28	1.96	0.15	1.25	25.6	10.64	26.71	24.44	48.85	FRANCO ARCILLO	10YR 5/4
M-59 PASTIZAL/ ATRAS DE TRIPLE 7	8	685.5	5	5.96	0.1	2	0.1	68	23.81	23.7	4.65	0.23	0.51	>100	0.35	0.07	1.2121	24.07	15.11	28.81	26.54	44.65	FRANCO ARCILLO	10YR 7/4
M-60 PASTIZAL/ ATRAS DE TRIPLE 7	8.2	662	5	1.27	0.1	1	0.1	58.5	20	23.7	3.62	0.22	0.59	>100	0.11	0.13	1.2903	20.13	14.47	26.71	26.54	46.75	FRANCO ARCILLO	10YR 8/3

*CE= capacidad específica, *CIC= capacidad de intercambio catiónico, *S.B.= saturación de bases, *M.O.= materia orgánica, *Da= densidad aparente, *Ha= humedad absoluta, *Ht= humedad relativa, *Color= sistema de notaciones de color de Munsell.

Fuente: Laboratorio de Análisis Físicoquímico de mina Marlin, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.

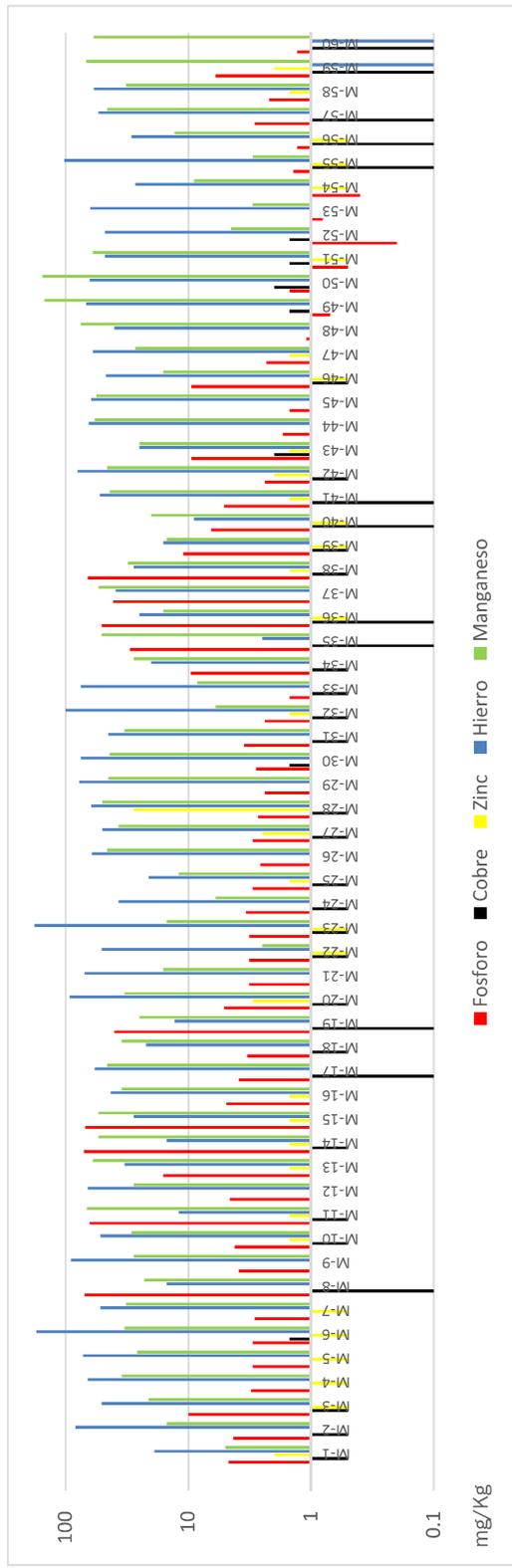
Gráfica 1. Unidad de pH de los suelos de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos



Fuente: Laboratorio de Análisis Físicoquímico de mina Marlin, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.

La medición de pH de los suelos de San Miguel Ixtahuacán muestra una constante general, sobresaliendo algunos pocos datos que están alrededor del 10% del total de muestras realizadas, estos repuntes están menores a 7 y en menores casos presentan un pH mayor a 8, lo que identifica a los suelos analizados en su mayoría ligeramente ácidos; luego de estos datos, los resultados de las muestras presentan una constante menor a 6.

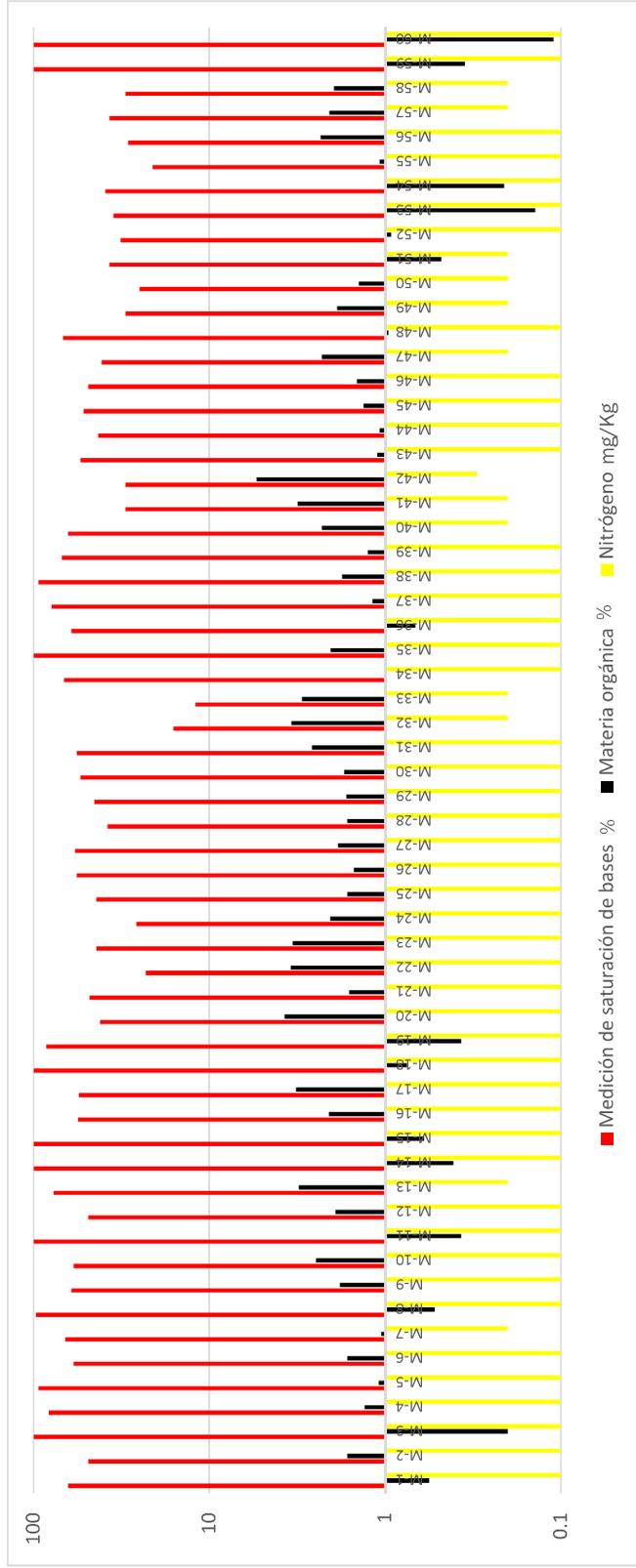
Gráfica 2. Medición de macroelementos (Fosforo, Cobre, Zinc, Hierro, Manganeso) de los suelos de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos



Fuente: Laboratorio de Análisis Físicoquímico de mina Marlin, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.

La medición de macroelementos identifica varios componentes, iniciando con el fósforo, el cual se ve con mucha variabilidad, ya que se encuentran valores muy bajos incluso cercanos a 0 y otros valores que se acercan a los 100 mg/Kg, siendo perjudicial este exceso, ya que no permite la absorción de otros macroelementos. El cobre se observa en muy pequeñas cantidades, ya que se encuentra entre 0.1 y 1 mg/Kg. El zinc que suele estar relacionado a otros elementos como el fósforo y que en los análisis de muestras efectuado en su mayoría estas cantidades apenas alcanzan entre 3 a 5 mg/Kg, pero en algunos casos especiales sus valores alcanzan los 50 mg/Kg. Los niveles de hierro identifican suelos ferrosos, existiendo dos valores superiores a 100 mg/Kg. El manganeso se encuentra igualmente con alta presencia, superando en dos ocasiones sus niveles a los 100 mg/Kg esto debido al tipo de suelos.

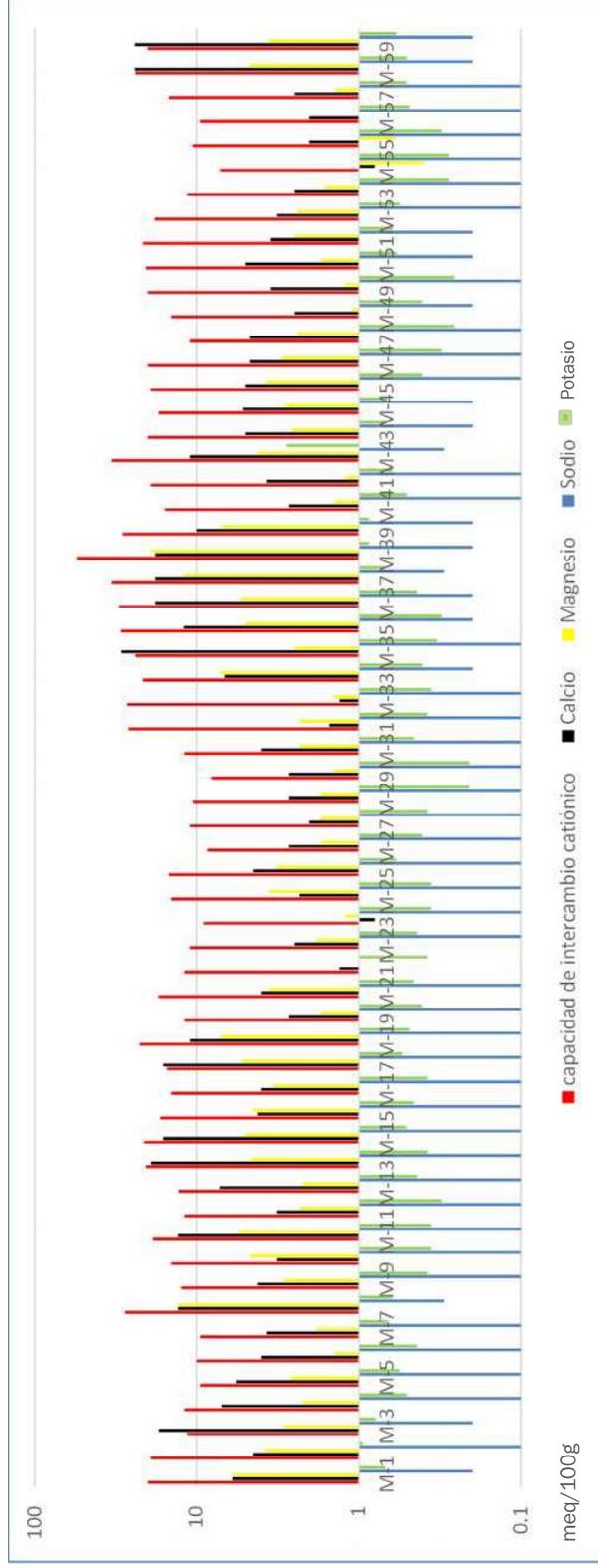
Gráfica 3. Medición de saturación de bases (S.B), Materia orgánica (M.O), Nitrógeno (N) de los suelos de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos



Fuente: Laboratorio de Análisis Físicoquímico de mina Marlin, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.

La medición de saturación de bases, contiene datos entre 10 y 100 mg/Kg principalmente, observándose una tendencia superior a los 60 mg/Kg expresando así las cantidades de iones cargados positivamente, con exclusión de iones de hidrógeno y aluminio, que son absorbidos en la superficie de las partículas del suelo. La materia orgánica es fundamental debido a la relación de los suelos con la cobertura boscosa, por lo cual se encuentran valores entre dos y ocho mg/Kg. El nitrógeno igualmente fundamental para los suelos ricos, en este caso los valores son cercanos a 1%.

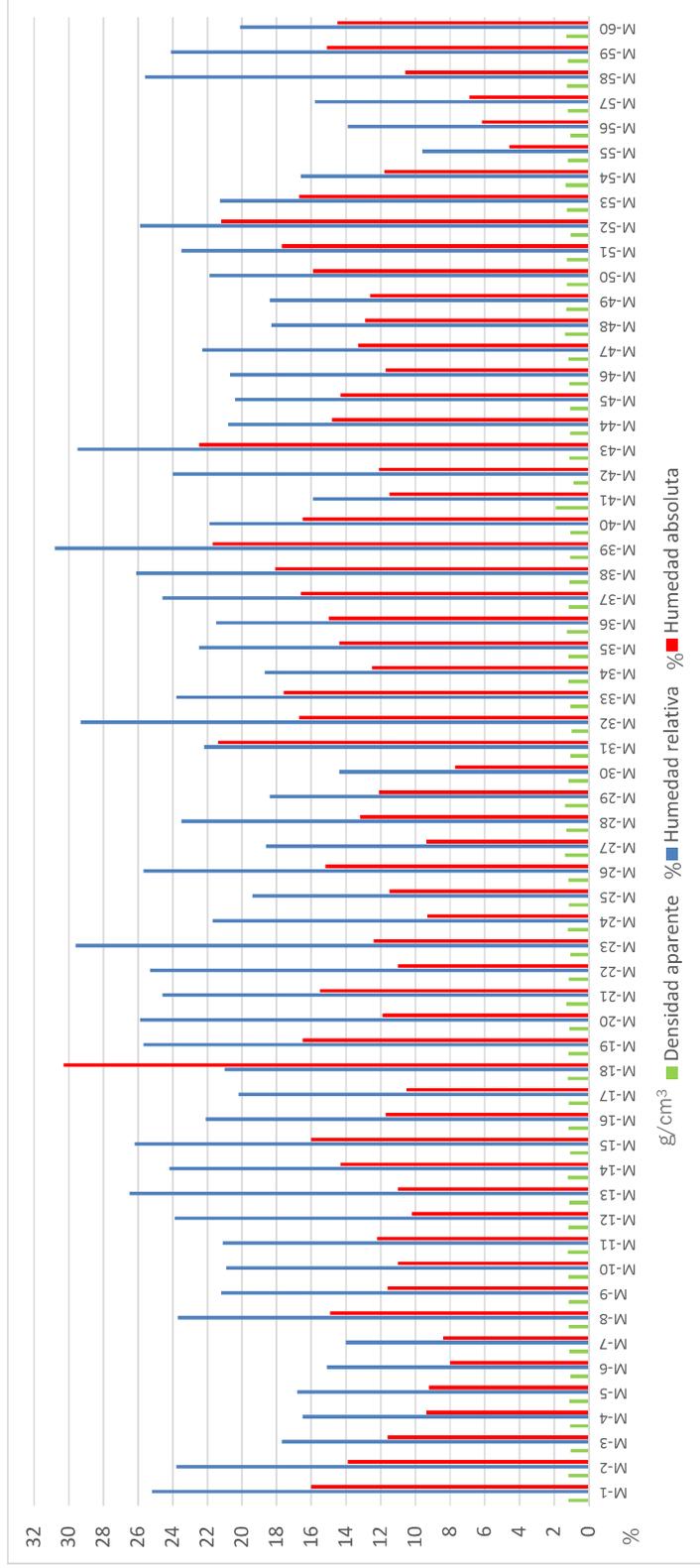
Gráfica 4. Medición de Microelementos (Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Capacidad de intercambio catiónico) de los suelos de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos



Fuente: Laboratorio de Análisis Físicoquímico de mina Marlin, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.

En la gráfica anterior sobresale un conjunto de muestras (31 a 53) en donde se dio un repunte de la capacidad de intercambio catiónico (adimensional), superando valores promedio, situándose entre 30 hasta los cercanos a 70 de esta capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, gracias a su contenido en arcillas y materia orgánica. El calcio presente revela datos de suma variabilidad, ya que las mediciones dieron entre 2 hasta 30 meq/100g. Los niveles de magnesio son superiores a valores de referencia, ya que se acercan a los 7 meq/100g, y en la muestra 38 el valor supera los 20 meq/100g. Los valores de sodio se ubican en niveles aceptables, sin superar 1 meq/100g, pero con una tendencia a la reducción en las muestras de repunte de la capacidad de intercambio catiónico. El potasio cuyos valores están entre 0.1 y 0.6 meq/100g, los cuales se encuentran en los parámetros normales.

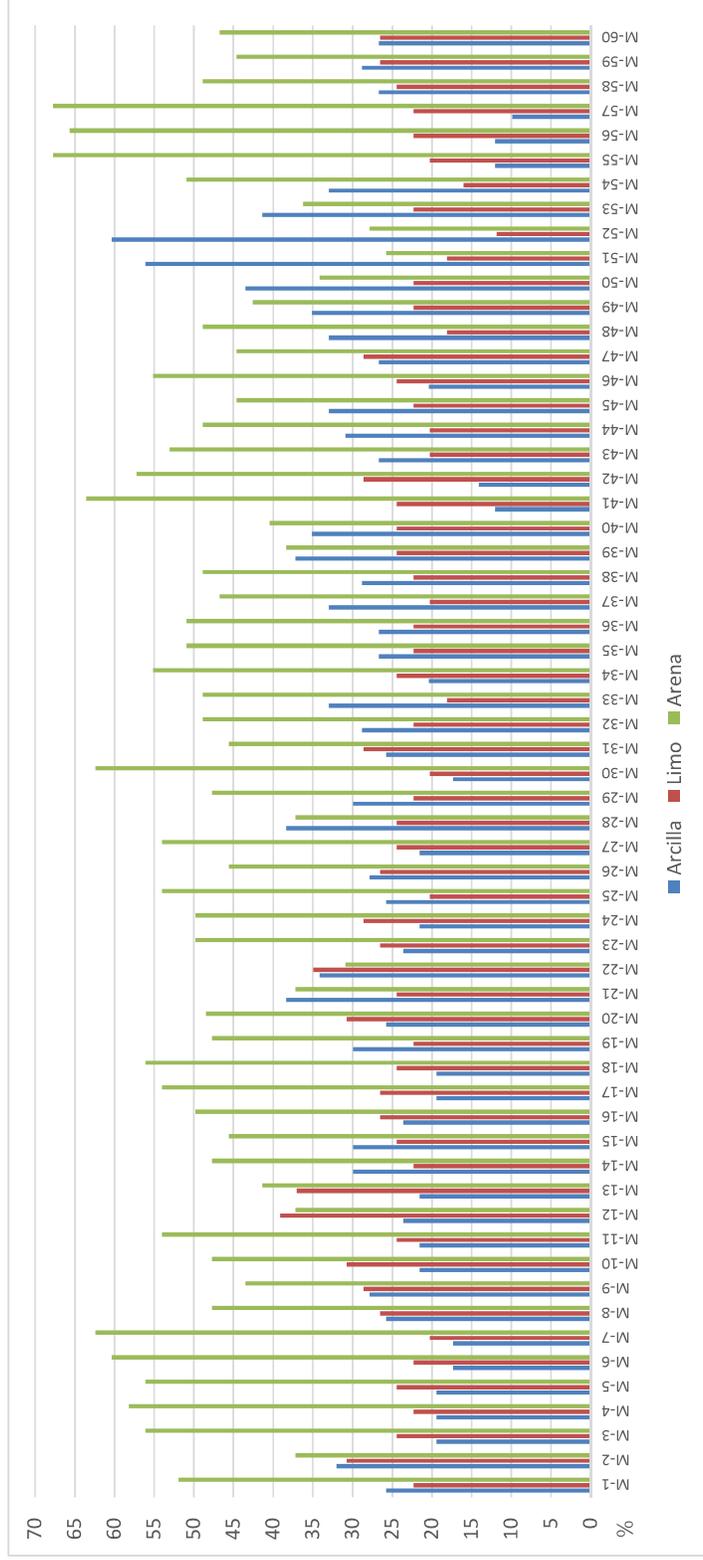
Grafica 5. Medición de densidad aparente (D.a.) y porcentaje de humedad de los suelos de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos



Fuente: Laboratorio de Análisis Físicoquímico de mina Marlin, San Miguel Ixtahuacán, San Marco

La densidad aparente se define como la masa de suelo por unidad de volumen (g/cm^3), y describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso, mostrando una tendencia clara alrededor de $1 \text{ g}/\text{cm}^3$, y únicamente en la muestra 41 la densidad aparente es de $1.9 \text{ g}/\text{cm}^3$. La humedad relativa se encuentra con alta variabilidad desde el 9 % hasta un valor superior al 30 %. En la humedad absoluta la variabilidad es menor, pero si muestra valores superiores a 30 % y valores reducidos en 4 %.

Grafica 6. Clasificación estructural de los suelos de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos



Fuente: Laboratorio de Análisis Físicoquímico de mina Marlin, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.

La clasificación de suelos se distingue entre los contenidos de arcilla, limo y arena. La arcilla en promedio se sitúa en 30 %, pero en las muestras 51 y 52 los valores se multiplican, explicándose una variabilidad causal por un espacio peculiar en la toma de la muestra. Las cantidades de limo son en promedio cercanos al 20 % y los repuntes son pocos, siendo únicamente el caso de la muestra 11 donde se acerca al 40 %. El contenido de arena en la muestra de suelo es de una alta variabilidad, entre 30 % hasta valores cercanos al 70 %, debido a las condiciones topográficas.

9. Discusión de Resultados

Las propiedades fisicoquímicas varían ampliamente, los valores de pH en su mayoría son menores de 7, siendo este según la clasificación como suelos ligeramente ácidos, esto debido a sus cantidades de bases, estableciéndose entre los parámetros de tipo ácido, con un promedio cercano a 6. El pH (tabla 12 y gráfica 1) es el factor más importante en la sorción y desorción de metales (Gabriel & Williamson, 2004). Este valor es determinante, ya que de ello dependen las plantas cultivadas en un territorio, en general presentan su mejor desarrollo en valores cercanos a la neutralidad, ya que en estas condiciones los elementos nutritivos están más fácilmente disponibles y en un equilibrio más adecuado.

Debido al valor promedio del pH que es cercano a 6, se cataloga cercano al rango máximo de suelos ácidos, (pH entre 4 y 6) lo que refiere que la disponibilidad de fósforo o macroelementos sea buena, sin embargo los suelos en este caso se encuentran con deficiencias en calcio y magnesio que impedirán el correcto desarrollo de un cultivo para el uso agrícola, así mismo se identifica un tipo de suelos ferrosos con niveles de concentración de hierro con más de 100 mg/Kg, de igual manera el manganeso; el elemento que llama la atención es el fósforo y sus amplias variabilidades con valores cercanos a 0 mg/Kg en algunas muestras y superiores a 100 mg/Kg en otras. Los tipos de compuestos de fósforo que existen en el suelo son principalmente determinados por el pH del suelo y por el tipo y la cantidad de los minerales en el suelo. En cambio el zinc, cuya presencia es muy reducida con valores entre 0.1 y 1 mg/Kg (tabla 12 y gráfica 2). Sin embargo, estos suelos se suelen aprovechar principalmente con bosques y menor cantidad con cultivos de granos básicos. Las relaciones expuestas se comprueban por tipo de suelos, ya que en suelos ácidos el fósforo tiende a reaccionar con aluminio, hierro y manganeso.

La materia orgánica de los suelos analizados muestra contenidos muy variables debido a que provienen de diversos usos y algunos son de áreas con sedimentos, suelos agrícolas y forestales (tabla 12 y gráfica 3). La medición de saturación de bases en las muestras efectuadas reporta datos variables entre 10% y 100%, se detecta una tendencia alrededor del 60%, bajo estos parámetros las cantidades de iones cargados positivamente, con exclusión de iones de hidrógeno y aluminio son absorbidos en la superficie de las partículas del suelo. La materia orgánica que es importante para la generación de nutrientes y por el

área de estudio se relaciona con el tipo de vegetación, principalmente la cobertura boscosa, obteniendo resultados cercanos a 0.1% y otros superiores a 8%, lo cuales se ven influidos por las pendientes, intervención del hombre e incluso sucesos naturales. El nitrógeno igualmente fundamental para los suelos, en este caso los valores son cercanos a 1 mg/Kg. Como elemento agregado al análisis, la observación de las tonalidades del color en los suelos del estudio que son determinados por la materia orgánica, que produce los tonos más o menos grises hasta el negro. Los componentes descompuestos de la materia orgánica tiñen el suelo fácilmente y se pueden apreciar a simple vista (Garrido V., 1993).

Como resultados obtenidos, también se muestra que existe una relación significativa entre la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), esta relación indica la capacidad del suelo para retener nutrientes (tabla 12, gráfica 3 y 4), siendo la textura arcillosa con mayor capacidad de intercambio catiónico y los de textura arenosa con reducida capacidad intercambio catiónico (Bornemisza, E., 1,982). La relación indicada sobresale en importancia por la topografía del lugar, ya que, favorece la microestructura del suelo siendo un elemento muy positivo en la disminución de la erosión de los suelos. En este conjunto de elementos sobresale la variabilidad en los niveles de potasio, entre 0.1 y 4 meq/100g; además de ello se observó una tendencia en las muestras 31 a 53 y el repunte severo en la muestra 38 en la elevación de la capacidad de intercambio catiónico, de acuerdo con la ingeniería agronómica, el parámetro ideal de capacidad de intercambio catiónico es de 35, pues más de este nivel podría generar problemas de encalado y dificultad para administrar fertilizantes, en cambio, cuando la CIC se ubica entre 5 y 15, se trata de arenas o arcillas que no retienen los nutrientes necesarios.

La densidad aparente muestra una relación significativamente negativa con la materia orgánica, ya que los suelos orgánicos tienen muy baja densidad en comparación con los suelos minerales (tabla 12 y gráfica 5), la densidad aparente varía de acuerdo al estado de agregación del suelo, al contenido de agua y la proporción del volumen ocupado por los espacios intersticiales, que existen incluso en suelos compactos, debido a que la materia orgánica pesa mucho menos que un volumen igual de sólidos minerales (Buckman y Brady, 1,996).

La fijación de Nitrógeno se produce en los suelos minerales sólo a valores de pH por encima de 5.5 (tabla 12 y gráfica 1); un suelo con un pH intermedio, por ejemplo, de 6 a 7, presenta mejor régimen biológico, ya que las condiciones de nutrientes son favorables sin ser extremas y la asimilación del fósforo está en el máximo (Crock, J., 1996).

La presencia de metales en el suelo llega a influenciar en la movilidad del mismo; por ejemplo, la desorción se incrementa cuando hay adherencia del Cu^{2+} o Zn^{+} , pero el Cu^{2+} aumenta aún más la desorción que el Zn^{+} . En el caso de la presencia de fósforo, sobre todo en las muestras que presentan elevados niveles, cercanos a 100 mg/Kg que puede favorecer los cultivos ya que este elemento, junto al nitrógeno, fósforo y potasio, son llamados los macroelementos primarios y son los que necesita la planta en cantidades elevadas y cuyo contenido en el suelo no suele ser suficiente para cubrir sus necesidades (Lopez G., 1988).

En el caso del cobre, el cual es considerado como una materia nutritiva indispensable, siendo sus valores en la mayoría de casos menor a la unidad de mg/Kg, y en escasas situaciones mayores a 2 mg/Kg, siendo estos resultados favorables ya que la acumulación en los suelos puede ser tóxico para las plantas. Por otra parte, el hierro es el elemento más abundante en el suelo. De hecho, por lo menos un 5% de la corteza terrestre está constituida por este elemento. Es más, es el cuarto más abundante en la lista de elementos químicos en la corteza terrestre. Pese a ello, su biodisponibilidad en el suelo es normalmente muy baja. Aun a pH cercanos a la neutralidad, este micronutriente presenta la menor disponibilidad en el suelo de todos los nutrientes requeridos para considerarse adecuado para las plantas (Sierra, 2017).

En los análisis realizados se midieron los microelementos u oligoelementos, que son aquellos elementos de los cuales las plantas tienen necesidades muy pequeñas y cuyo contenido en el suelo es suficiente para asegurar su crecimiento. Solamente la presencia muy elevada de algún macroelemento secundario puede impedir que las plantas lo absorban (bloqueos), o que determinadas condiciones físicas del suelo (como el pH) impidan su solubilidad, por tanto, su disponibilidad para la planta es baja; de esta cuenta que los niveles de calcio se encuentran entre los niveles óptimos entre 6 y 15 meq/100g; el magnesio supera en varios de los casos los niveles óptimos ubicados entre 3 y 6 meq/100g (tabla 12 y gráfica 4).

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla en el suelo. La textura del suelo también presentó variación en los suelos de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos, con la siguiente frecuencia franco arcilloso arenoso \geq franco arenoso \geq franco arcilloso \geq franco \geq arcilloso (tabla 12 y gráfica 6).

10. Conclusiones

Mediante el análisis de las 60 muestras se realizó la clasificación de los suelos de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos. Se toman en cuenta los elementos mayores y menores en un análisis fisicoquímico. Los niveles de pH denotan suelos ligeramente ácidos, con una alta variabilidad de fósforo, suelos ferrosos y con importantes concentraciones de manganeso, siendo estos suelos ricos por su contenido de materia orgánica y nitrógeno, los suelos clasificados fisicoquímicamente resultaron con niveles óptimos de materia orgánica, correspondiente a los suelos forestales/pastizales.

1. Se analizaron las muestras en un conjunto de 60 puntos del área delimitada entre los municipios de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, tanto en época seca como en época lluviosa, obteniéndose resultados con diferencias en las concentraciones de ciertos materiales debido a la formación de escorrentía como es la composición orgánica y la capacidad de intercambio catiónico.
2. En términos generales, los suelos presentan contenidos elevados en arcilla y materia orgánica tuvieron así como también alta capacidad de intercambio catiónico. Los rangos de densidad aparente oscilan entre los rangos de acuerdo con el material orgánico. Según la clasificación USDA los suelos analizados tienen alta capacidad para bosques y en poca medida para el desarrollo de pastoreo extensivo.
3. La capacidad potencial de los suelos de los municipios de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos, según criterios de INAB son de tipo silvopastoriles, con áreas de pendiente, con limitaciones permanentes, con pastos naturales y cultivos asociados con especies arbóreas, también clasificadas en tierras forestales de producción y de protección.

11. Recomendaciones

1. Correlacionar estadísticamente las propiedades físicas y químicas con la concentración de Mercurio (Hg) y Cianuro (CN), debido a la actividad minera que hubo en San miguel Ixtahuacán y Sipacapa.
2. Incluir, en estudios posteriores, el análisis de crecimiento bacteriano, lo anterior definirá si los suelos son ambientes propicios, posiblemente a la alteración de sus condiciones naturales.
3. Restringir y adecuar algunas propiedades físicas y químicas de los suelos, así como tomar en cuenta solo suelos agrícolas y forestales.

12. Bibliografía

- Aguilera N. (1989). *Tratado de Edafología de México* (Tesis de graduación). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Alvarado, J. (1998). *Estudio del control y la protección de las aguas subterráneas en el valle alto* (Tesis de Graduación). Universidad de Bolivia
- Bocco, G. & Mendoza, M. (1999). *La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán; una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación* (Tesis de Graduación). Universidad Autónoma de México.
- Bockheim, J. G. (1984). *Nature and properties of highly disturbed urban soils, Philadelphia, Pennsylvania*. Chicago, Illinois: Academic Press.
- Bornemisza E., (1982). *Introducción a la Química de suelos*. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, Secretaria General de la organización de los Estados Unidos de americanos, Programa regional de desarrollo científico y tecnológico, monografía no. 25 p. 21-47.
- Brady. N. C. (1984). *The nature and properties of soil*. New York: Macmillan Book.
- Buckman Harry & N.C. Brady. (1966). *The nature and properpies of soils*. USA: Macmillan Company.
- Burges, J. (2012). *Características fisicoquímicas del suelo y su asociación con Macroelementos en áreas destinadas a pastoreo en el estado Yaracuy*. Yaracuy, Venezuela: CIAE.

- Cano, C. (2005). *Estudio de la vegetación existente entre los ríos Tzala, Ixquivichil Cuilco, en la aldea San José Nueva Esperanza, San Miguel Ixtahuacán San Marcos* (tesis de graduación). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Cantó, P. et al. . (2012). *Relaciones entre las listas de los parámetros físico-químico del suelo y la vegetación de Juncales de Scirpoides holochoenus*. Universidad de Complutense: Madrid, España.
- Consultoría Tecnológica Ambiental (CTA). (2012). *Estudio de Impacto Ambiental -EIA- del área de estudio en la aldea San José Nueva Esperanza, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos* (Estudio Técnico). Instituto Técnico ambiental.
- Craul, P. J. & C. J. Klein. (1980). *Characterizaion of Streeside soils of Syracuse*. New York: Metria.
- Crock J. P. (1996). *Methods of soil analysis, part 3. Chemical methods – SSSA book serie, no. 5*. Soil Science society of America and American society of agronomy, 677 s. Segoc Rd, Madison, WI 53771, USA.
- Dardon, A. (2011). *Aplicación de los SIG al ordenamiento territorial para la gestión de riesgo, por tormentas tropicales en la ciudad de Guatemala* (Tesis de Graduación). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Díaz, L. Arranz, J. & Peñuela, G. (2013). *Caracterización físico-químico y mineralógico de suelos en zona carbonífero del Cesar Colombia*. Colombia: Santa Fe.
- Dominguez, J. (2012). *Estudio Físico-químico y micro morfológico de suelos de Deganthza, Valle del Mezquital, Hidalgo* (Tesis de Graduación). Universidad de Zuria Venezuela.

- Donahue, Miller & Schickluna. (2000). *Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas*. Madrid, España: Prentice/Hall.
- Food and Agriculture Organization of de United States (FAO). (1976). *Esquema para la evaluación de tierras*. Roma, Italia: Estudios FAO.
- Food and Agriculture Organization of de United States (FAO). (1985). *Evaluación de tierras con fines forestales*. Roma, Italia: Estudios FAO.
- Food and Agriculture Organization of de United States (FAO). (1994). *Directrices sobre la planificación del aprovechamiento de la tierra*. Roma, Italia: Estudios FAO.
- Gabriel C. Mark, Williamson D.G., (2004). *Principal biogeochemical factors affecting the speciation and transport of mercury through the terrestrial environmental*. Environmental Geochemistry and health 26: Pp. 421-424.
- Garrido, V. (1993). *Interpretación de análisis de suelos*. Madrid: Ministerio de agricultura pesca y alimentación 14: Pp. 112-396.
- Instituto Geográfico Nacional. (1966). *Mapa topográfico de la República de Guatemala. Mapas de Guatemala*. Guatemala: 1, 50.
- Instituto Nacional de Bosques (INAB). (2000). *Manual para la Clasificación de Tierras por capacidad de uso*. Guatemala: Guatemala.
- Jackson, M. (1990). *Soil Chemical Analysis*. United States of America: Prentice Hall.
- Kays, B. L. (1982). *Methodology for on -site soil analysis*. New York : Studies.
- Laboratorio de Edafología. (2008). *Análisis del suelo*. Universidad de San Carlos de Guatemala: FAUSAC.

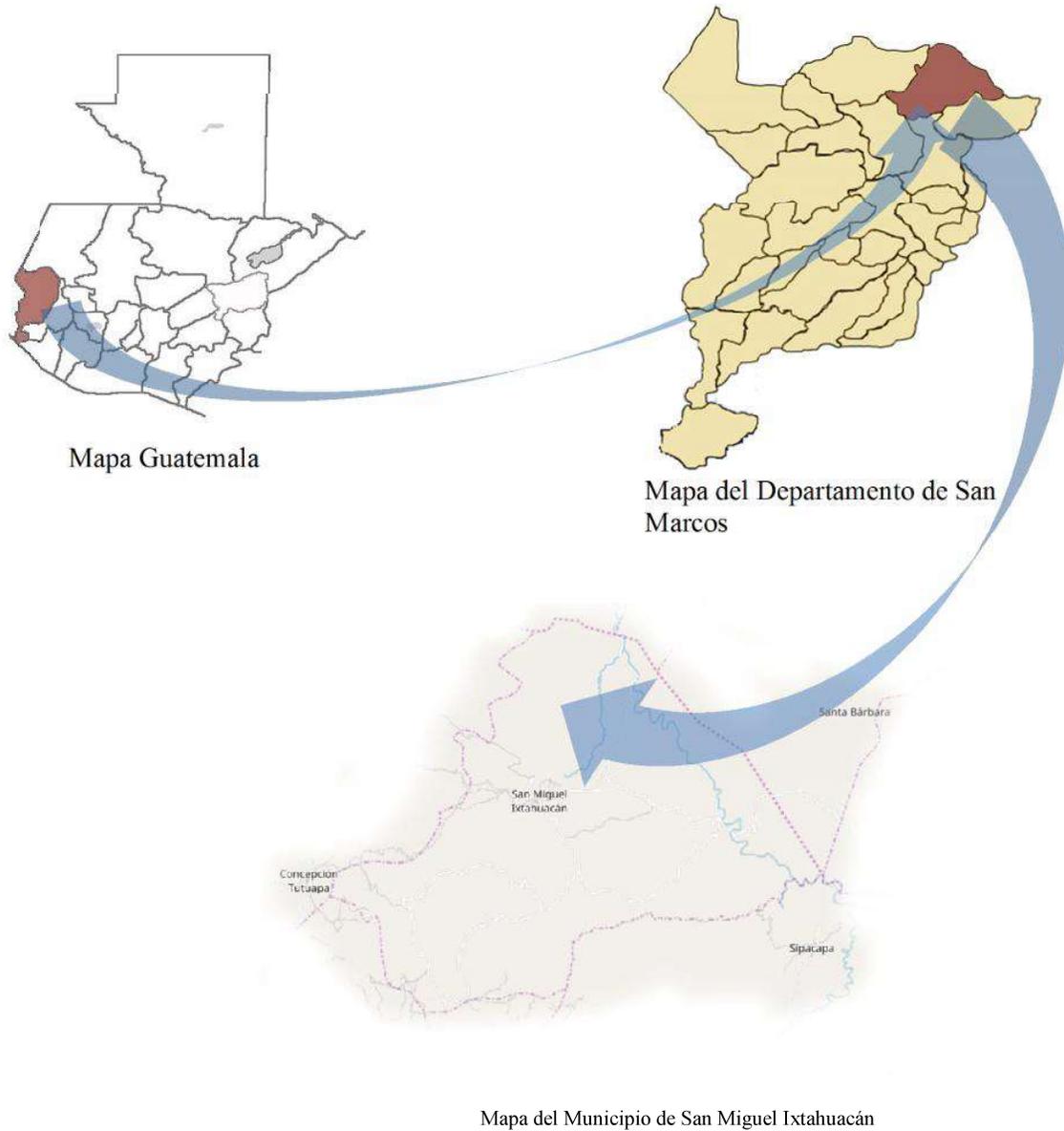
- Landsberg, H. (1981). *The Urban Climate*. New York : Academic Press.
- López, G. (1988). *Métodos rápidos de análisis de suelos*. Madrid: Ministerio de agricultura pesca y alimentación 38: Pp. 378-696.
- Luis Carlos Díaz Muegue, Julio César Arranz González & Gustavo Peñuela Mesa. (2013). *Caracterización fisicoquímica y mineralógica de suelos en zona carbonífera*. Comunicaciones, 38, pp. 1-47.
- Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. (1997). *Propuesta: Reglamento sobre uso, manejo y conservación de Tierras*. La Paz, Bolivia: Conservación de Tierras.
- Oficina Municipal de Planificación (OPM). (2008). *Diagnóstico rural participativo, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos* (Estudio Técnico). Municipalidad de San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.
- Patterson, J. C. (1982). *Soil compaction and its effects upon urban vegetation*. New York : Studies.
- Porta Casanellas, J., López Acevedo M. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. España: Ediciones Mundi-prensa.
- Primo, E. & Carrasco, J. (1998). *Química agrícola I*. España: Prentice Hall.
- Simmos, T. & Pinto. (1999). *Estudio de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala*. Guatemala: INTER-Americano.
- Sierra, C. (2017). *El hierro en suelo y plantas*. Santiago de Chile: El mercurio Publisher, 52, pp. 5-43.

- Tobías, V. (1996). *Procedimientos para análisis de suelo* (Tesis de Graduación). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Topp G. C. (1993). *Soil water content. In: soil sampling and methods of analysis*. Toronto, Canada: Lewis Publisher
- United States Department of Agricultura (USDA-ARS). (1998). *Agricultural Research service, Soil quality test kit guide*. Washington: Edition Publisher
- Vargas, J. (1999). *Sistema de gestión y Ordenamiento Territorial a través de la teledetección y sistemas de información Geográfica para el municipio de Cercado Cochamba* (Tesis de graduación). Universidad de Bolivia.
- Volke ST, Velasco TJA & De la Rosa PD. (2005). *Suelos Contaminados por metales pesados y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. México, D.F.: SEMARNAT 17: Pp. 159-357.

13. Anexos

Anexo 1:

Figura 5. Ubicación geográfica: San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.



Fuente: (Laboratorio de análisis fisicoquímico de mina Marlin, 2013)

Anexo 2.

Clasificación de Tierras.

Clasificación	Características
Clase I	Tierras con pocas limitaciones que restringen su uso
Clase II	Tierras que tienen algunas limitaciones que reducen la selección de plantas o requieren moderadas prácticas de conservación de suelos
Clase III	Tierras que tienen severas limitaciones que reducen la selección de plantas o requieren prácticas especiales de conservación de suelos
Clase IV	Tierras que tienen muy severas limitaciones que restringen la selección de plantas y requieren de un cauteloso cuidado de manejo
Clase V	Tierras que no presentan erosión o muy pequeña, pero que tienen otras limitaciones no prácticas de removerse, que limiten el uso continuo y prolongado de pastos
Clase VI	Tierras con severas limitaciones, que las hacen generalmente no utilizables para cultivos; pero son apropiadas para praderas, pastizales, bosques maderables o alimento para vida silvestre y cubierta vegetal
Clase VII	Tierras que tienen muy severas limitaciones que los hacen restringen su uso principalmente para pastoreo, bosque maderable o vida silvestre
Clase VIII.	Tierras y paisajes (geoformas) que no reportan beneficios locales tangibles. Su mejor uso será para mantenimiento de hábitats de vida silvestre, protección de cuencas altas y recreación

Fuente: (Departamento de Agricultura de Estados Unidos, 1998).

Características del suelo según la metodología del Departamento de Agricultura de Estados Unidos –USDA-

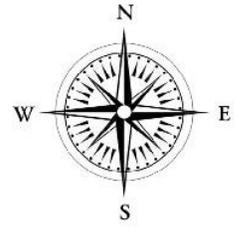
Criterio	Características
Textura	Se entiende por textura las proporciones de arcilla, limo y arena de hasta 2 mm de diámetro, que conforman la masa de suelo. Se considera como textura de la unidad aquella que domine en la profundidad efectiva del suelo
Permeabilidad	Es la propiedad que tiene el suelo de transmitir agua. Mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración
Relieve	Hace referencia a las formas que tiene la corteza terrestre o litosfera en la superficie, tanto al referirnos a las tierras emergidas, como al relieve submarino, es decir, al fondo del mar
Estructura	Se entiende como la disposición o arreglo de las partículas fundamentales del suelo (arcilla, limo y arena)
Erosión	Como un proceso de arrastre del suelo por acción del agua o del viento; o como un proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas de suelo causado por el agua y el viento
Drenaje	Se entiende por drenaje la facilidad y rapidez con que el agua pasa a través del suelo y es eliminada del mismo
Zona de restricción	Estrato o capa endurecida que afecta el drenaje interno
Nivel freático	Superficie de un cuerpo de agua subterránea por debajo del cual el suelo o las rocas están siempre saturadas de agua.

Criterio	Características
Fertilidad	Es el estado del suelo con respecto a su habilidad para asumir nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal
Humedad	Mide el contenido en agua de un volumen de tierra. La capacidad máxima de humedad del suelo depende del tipo de suelo, su desarrollo, la vegetación presente y los usos del suelo
Cobertura de maleza	Las malezas son plantas indeseables que crecen junto con los cultivos, las cuales impiden su desarrollo normal
Uso de la tierra	Se basa en el principio de la máxima intensidad de uso soportable sin causar deterioro físico del suelo
Mecanización	Consiste en usar diferentes máquinas, equipos y sistemas en la producción agrícola, con el objetivo de aumentar la productividad y buscar un desarrollo sostenible de las actividades agropecuarias

Fuente: (Departamento de Agricultura de Estados Unidos, 1998).

Anexo 3. Mapa de cobertura de mina Marlin.

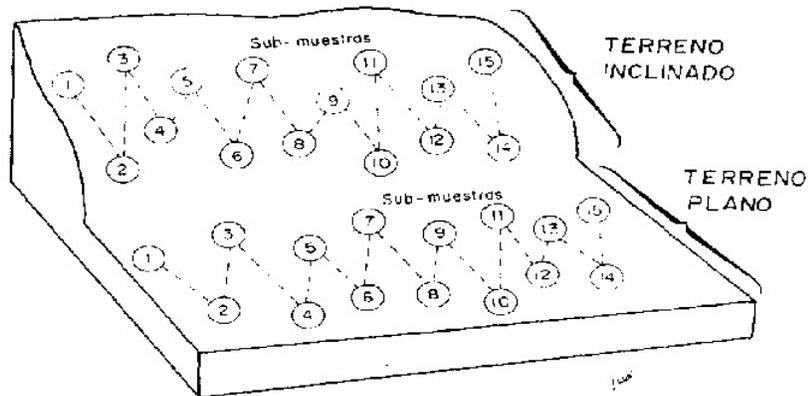
Ubicación geográfica: San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.



Fuente: Fuente (Laboratorio de análisis fisicoquímico de mina Marlin, 2013).

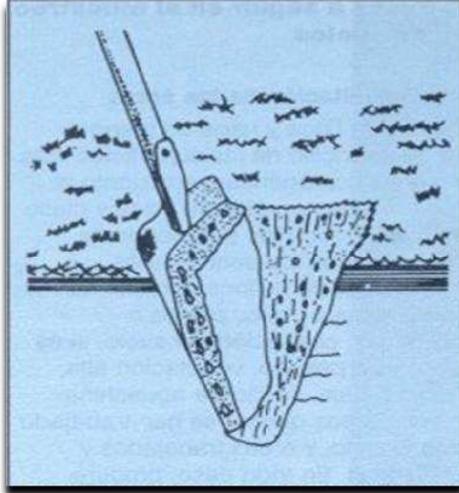
Anexo 4. Tipo de muestreo, toma de muestra, etiqueta y boleta de campo.

Figura 1. Muestreo en Zig-Zag utilizada para el muestreo de suelo.



Fuente: (Laboratorio de Edafología, 2008).

Figura 2. Toma de muestra de suelo



Fuente: (Laboratorio de Edafología, 2008).

Figura 3. Etiqueta de Muestreo

Etiqueta de Muestreo
Unidad de muestreo No. _____
Fecha: _____
Ubicación/ Coordenadas: _____
Evaluador: _____
Conocedor: _____
Observaciones: _____

Fuente (Propia del estudio)

Figura 4. Boleta para datos de Campo

Boleta para datos de campo	
Elaboración del mapa de capacidad de uso de la tierra 2,013	
	Unidad de muestreo No. _____
	Fecha: _____
Ubicación/ Coordenadas: _____	
Evaluador: _____	
Conocedor: _____	
Observaciones: _____	
Criterios	
Profundidad: _____	
Textura: _____	
Permeabilidad: _____	
Pendiente: _____	
Relieve: _____	
Estructura: _____	
Erosión: _____	
Drenaje: _____	
Zona de restricción: _____	
Nivel freático: _____	
Fertilidad: _____	
Humedad: _____	
Pedregosidad: _____	
Cobertura de malezas: _____	
Uso de la tierra: _____	
Mecanización: _____	

Fuente (Laboratorio de análisis fisicoquímico de mina Marlin, 2013)

Anexo 5.

Determinación de pH

1. Se pesarán 40g. de suelo tamizado y secado al aire.
2. Colocar en un beacker y se agregarán 80 mL de agua.
3. Se agitarán durante 10 minutos con una varilla de vidrio.
4. Se introducirá cuidadosamente el electrodo a la suspensión.
5. Se anotará el pH de la suspensión, se colocará en posición de reposo el potenciómetro.
6. Se extraerán los electrodos de la suspensión, se lavarán con agua destilada y se secarán con papel.

Determinación de la textura del suelo (g/L)

1. Se pesarán 50g. de suelo y colocarlas en un frasco de Mason o recipiente para mezcladora.
2. Se agregarán 10 mL de solución dispersante y completar el humedecimiento con agua destilada por medio de una pizeta hasta cubrir el nivel del suelo.
3. Se dejará reposar por 24 horas.
4. Se agitará por medio de una licuadora o mezcladora durante 10 minutos.
5. Se verterá el contenido del frasco a una probeta de 1000 cc.
6. Se introducirá el hidrómetro y aforar con agua estilada hasta la marca 1130 (si se observa mucha espuma en el interior de la probeta, se agregará unas gotas de alcohol amílico). Se sacará el hidrómetro.
7. Se homogenizará la mezcla por agitación manual (por inversión) o una agitadora de probeta (20 agitadas suficientes).
8. Se colocará la probeta sobre la mesa de trabajo, se tomará el tiempo e introducir el hidrómetro y hacer la lectura de los mismos a los 40 segundos.
9. Se dejará reposar y a las 2 horas, se introducirá nuevamente el hidrómetro y realizar las lecturas correspondientes” (Primo & Carrasco, 1998).

Determinación de elementos disponibles

1. En una probeta se añadirán 167 mL de HCl concentrado (12M) y 28 mL de H₂SO₄ concentrado (18M), se llevará a 3.5 L con agua desionizada y se almacenará en recipiente hasta su uso, la solución anteriormente preparada corresponderá a la solución de Mehlich 1.

2. Se pesarán 5g. de suelo tamizado a 2 mm y se transferirá a un matraz erlenmeyer de 50 mL.
3. Si es necesario obtener un filtrado incoloro, se agregará 1 cm³ (aprox. 200mg) de carbón vegetal a cada matraz.
4. Se añadirán 20 mL de solución Mehlich 1 y se agitará durante cinco minutos en un agitador a unas 180 rpm a temperatura ambiente menor a 24° o 27° C.
5. Se filtrará a través de un papel de filtro Whatman N° 2.
6. Se analizará por colorimetría el contenido de P en el blanco y los patrones realizados con la solución Mehlich 1 (Primo & Carrasco, 1998).

$$P \text{ extractable (mg/kg)} = [\text{Concentración de P en extracto Mehlich 1 (mg/L)}] \cdot \left[\frac{0,020 \text{ L extracto}}{0,005 \text{ kg de suelo}} \right]$$

Para la oxidación con dicromato de potasio

1. Se tomarán dos erlenmeyers de 500cc y enumerarlos. En el No.1 se valorará el sulfato ferroso amoníaco y en el No.2, se realizará la determinación.
2. Se pesará 1g. de suelo (2g. si el suelo muy pobre de materia orgánica y 0.5g. en suelos muy ricos) y se transferirá al erlenmeyer No.2.
3. Se colocarán 10 mL de dicromato de potasio 1N y 10 mL de H₂SO₄ al erlenmeyer No.1, se agitará durante 30 minutos y se dejarán reposar 30 minutos.
4. Al terminar de agitar el matraz No. 1, se vertirán 10 mL de dicromato de potasio 1N, en el matraz No.2 agitar y se agregarán 20 mL de H₂SO₄, se agitará inmediatamente durante 30 minutos y se dejará reposar durante 30 minutos.
5. Pasados los 30 minutos, se añadirá al matraz No.1, 200 mL de agua destilada y 10 mL de H₃PO₄ al 85% y se enfriará con agua.
6. Transcurrido los 30 minutos para el matraz No.2, se agregarán 200 mL de agua destilada y 10 mL de H₃PO₄ al 85% y se enfriará con agua.
7. Se agregará 1 mL de difenilamina a cada uno de los matraces y valorarlos cuidadosamente con sulfato ferroso amoníaco 0.5N, hasta observar que el color vire a verde manzana, se utilizará un agitador magnético (Primo & Carrasco, 1998).

Determinación de cloruro bórico- trietanolamina

1. Para la extracción de los iones del suelo con una solución de cloruro bórico.
 - a. Se pesará 10.2 g de suelo, tamizado a través de un tamiz de 2 mm de abertura de malla, y se colocarán en un tubo de centrifuga de 50 mL.
 - b. Se añadirán al tubo que contiene el suelo, 25 mL exactamente medidos de la solución de cambio A, y se agitará con una varilla durante 2 minutos.
 - c. Se centrifugará durante 5 minutos a 3000 rpm.
 - d. Se separará el líquido y se guarda el suelo con Ba^{2+} (el líquido claro separado servirá para valorar la acidez de cambio).

2. Para la sustitución del Ba^{2+} por Mg^{2+}
 - a. Se añadirá al suelo resultante de las operaciones anteriores y en el mismo tubo, 25 mL exactamente medidos de la solución de cambio B y se agitará durante 1 minuto.
 - b. Se centrifugará durante 5 minutos a 3000 rpm.
3. Para la valoración de Mg^{2+}
 - a. Se tomarán 10 mL de la solución transparente, se verterán en un matraz erlenmeyer de 250 mL y se diluirán a 100 mL de agua destilada.
 - b. Se tomarán 10 mL de la solución de sulfato magnésico, se verterán en otro erlenmeyer de 250 mL y se diluirán a 100 mL de agua destilada.
 - c. A cada erlenmeyer de 250 mL, se le añadirán 10 mL de solución tampón y 6 gotas de negro de ericromo T y se valorará el magnesio hasta aparición de color azul.
4. Para la determinación de la acidez de cambio
 - a. Con una pipeta se tomarán 10 mL del extracto obtenido en la extracción de los cationes del suelo con BaCl y trietanolamina.
 - b. Se añadirán 4 gotas del indicador a-1 y 6 gotas del a-2.
 - c. Se valorará la solución con HCl 0.1N hasta la aparición de un color rosa.
 - d. Se tomarán 10 mL de solución de cambio A, se añadirán 4 gotas del indicador a-1 y 6 del a-2 y se valorarán con HCl 0.1N hasta la aparición de color rosa (Primo & Carrasco, 1998).

Determinación de conductividad eléctrica

1. Se pesarán 100 g de suelo secado al aire.
2. Se agregarán 500 mL de agua destilada.
3. Se agitará o mezclará vigorosamente la suspensión durante 10 minutos.
4. Se filtrará.
5. Se introducirán los electrodos del conductímetro.
6. Se esperará la estabilización de la lectura.
7. Se extraerán los electrodos de la suspensión, se lavarán con agua destilada y se secarán con papel (Primo & Carrasco, 1998).

Determinación de densidad aparente

1. Se introducirá una porción de suelo en una probeta graduada de 100 mL previamente tarada.
2. Se anotará el volumen del suelo.
3. Se golpeará el fondo de la probeta con un tapón de hule aproximadamente 30 veces y se anotará el volumen que ocupa.
4. Se establecerá la masa de la porción del suelo.
5. Se realizarán los cálculos de la densidad aparente y el porcentaje de humedad (Primo & Carrasco, 1998).

Sury Karina López Gómez
Autor

Luis Fernando Sánchez Matta
Autor

Dra. Karin Larissa Herrera Aguilar
Asesora

Ing. Oliver Aroldo Cano Cano
Asesor

MSc. Sergio Alfredo Lickes
Revisor

MSc. Alba Marina Valdés de García.
Directora
Escuela Química Biológica.

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda
Decano
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.