



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

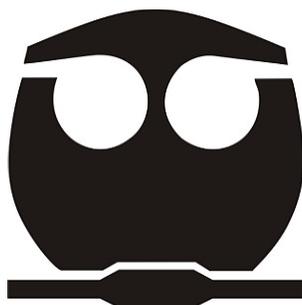
**APLICACIÓN DE ORINA HUMANA EN SUELO DE
USO AGRÍCOLA. EFECTO EN LA CAPACIDAD DE
INTERCAMBIO CATIÓNICO
T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO

PRESENTA

ARTURO ÁLVAREZ ELIZALDE



MÉXICO, D.F.

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: Yolanda Josefina Castells García

VOCAL: María Isabel Gracia Mora

SECRETARIO: José Luis Martínez Palacios

1er SUPLENTE: Araceli Tovar Tovar

2do SUPLENTE: Baldomero Gómez Reyes

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

**Edificio 5, Instituto de Ingeniería, Ciudad Universitaria, UNAM, México D.F.
04510, México.**

M. en I. José Luis Martínez Palacios

ASESOR



Arturo Álvarez Elizalde

SUSTENTANTE



Agradecimientos

Al M. en I. José Luís Martínez Palacios por el gran apoyo y comentarios para la realización de este trabajo de tesis.

Al proyecto PAPIIT numero 123009 por el apoyo para la realización de esta tesis.

A la química Patricia Girón García del departamento de Geoquímica del Instituto de Geología, por el análisis de DRX y FRX en los suelos.

A la M. en I. Guillermina Pérez Casimiro por sus valiosos conocimientos, asesoría y apoyo en este trabajo.

Al Dr. Ignacio Monje por su amistad, apoyo y entusiasmo.

Quisiera reconocer que este trabajo se enriqueció con los comentarios y observaciones de la M en C. María Isabel Gracia Mora y de la maestra Yolanda J. Castells García.

A mis amigos del cubo 218 por su amistad y apoyo.

Al Instituto de Ingeniería de la UNAM por haberme permitido la realización de la tesis.

Agradezco a la Facultad de Química por todo el apoyo brindado durante toda la carrera.

Dedicatoria

A mis maestros de vida; mis padres, Josefina y Arturo, por todo el amor, apoyo, consejos y motivación para lograr mis sueños ¡Gracias por todo esto! Los amo.

A mí querido hermano David por su enorme motivación y persistencia y sobre todo por estar siempre conmigo.

A mis abuelos Antonia y Francisco que me han visto crecer y siempre han estado pendiente de mí, ¡los quiero mucho!.

A mis amigos por su compañía y amistad a lo largo de todos estos años.

ÍNDICE

Resumen	1
Introducción.....	2
Objetivos	7
Hipótesis	8
2. Antecedentes	9
2.1 Marco Teórico	11
2.1.1 Suelo.....	12
2.1.2 Orina.....	29
3. Metodología.....	37
3.1 Muestreo de suelo y orina.....	37
3.1.1 Suelo.....	37
3.1.2 Orina.....	42
3.2 Materiales y equipos	43
3.3 Caracterización de suelo y orina.....	43
3.3.1 Suelo.....	44
3.3.2 Orina.....	47
3.4 Condiciones experimentales	48
3.4.1 Dosis aplicada	50
3.4.2 Técnica del montaje y desmontaje de las columnas.....	51
3.5 Determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes intercambiables	52
4. Resultados y discusión.....	58
4.1 Caracterización inicial de suelos y orina	58
4.1.1 Suelos.....	58

4.1.2 Orina.....	68
4.2 Resultados de las pruebas experimentales después de la aplicación de la orina en las columnas de suelo.....	71
4.2.1 pH y conductividad.....	72
4.2.2 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....	73
4.2.3 Cationes Intercambiables	74
4.2.5 Cationes solubles.....	79
4.3 Análisis de resultados	80
4.3.1 pH	80
4.3.2 Conductividad	83
4.3.3 Capacidad de intercambio catiónico	84
4.3.4 Cationes intercambiables.....	86
4.3.5 Cationes solubles (lixiviación).....	91
4.3.6 Nitrógeno y Aniones.....	92
5. Conclusiones.....	95
5.1 Recomendaciones para estudios posteriores	98

Tabla de abreviaturas

Abreviatura	Significado
C	Carbono
C total	Carbono total
CC	Capacidad de campo
CIC	Capacidad de intercambio catiónico
DRX	Difracción de rayos X
FRX	Fluorescencia de rayos X
N	Nitrógeno
N ₂	Nitrógeno gaseoso
N total o Nt	Nitrógeno total
N	Normalidad
NH ₄ ⁺	Amonio
NH ₃	Amoniaco
NO ₃ ⁻	Nitratos
NO ₂ ⁻	Nitritos

Resumen

El principal reto que se tiene hoy en día en todo el mundo es satisfacer la demanda alimentaria que exige la creciente población, por lo que la agricultura se esta viendo sobre explotada en la demanda de nutrientes para el crecimiento de los cultivos. Debido a esto la agricultura necesita prácticas modernas con las cuales se pueda satisfacer estas demandas y cuidar al mismo tiempo los suelos de la sobre explotación.

Por otro lado otro problema que se esta presentando cada vez más es la escasez del agua ya que la disponibilidad de ésta es cada vez más complicada encontrarla en los volúmenes necesarios, por lo cual cuidarla es una tarea de alta prioridad, el ahorrarla y desarrollar nuevas tecnologías de reciclado de agua son de un alto interés científico. Dentro del tema de reciclado de agua se encuentra la disposición de los residuos sanitarios, tales como la orina y las heces, los cuales son desechados por el baño utilizando grandes cantidades de agua potable. Estos residuos cada vez son citados con mayor fuerza en la platicas de ahorra de agua y sustentabilidad por la simple razón de que no se sabe como tratarlos.

Debido a los dos puntos anteriores el objetivo de establecer soluciones a estos problemas que nos afectan cada vez más, se decide experimentar con los residuos sanitarios, en este caso en específico con la orina humana, ya que ésta tiene las características de contener grandes cantidades de nitrógeno y otros nutrientes en menor proporción necesarios para el crecimiento de los cultivos, por lo que puede ser utilizada como un fertilizante agrícola natural y económico.

El objetivo de este estudio es evaluar el efecto del uso de la orina humana en el suelo como fertilizante, modificando de forma positiva las condiciones del suelo, las cuales corresponden a los parámetros químicos (pH, conductividad, aniones, N-total, cationes intercambiables y CIC).

El alcance que se tuvo en el trabajo fue investigar el comportamiento del suelo al aplicarle orina humana y el efecto que tiene en las características físicas y químicas del mismo. Para la realización de éste, se colectó orina humana y se buscó la zona de muestreo del suelo. Como la zona de estudio mostró la presencia de dos tipos diferentes de suelos, uno ligeramente ácido y otro neutro, se tomó la decisión de aprovechar esta situación y trabajar con ambos suelos, para complementar el trabajo y observar que suelo responde mejor a la dosificación de orina. Se caracterizó física y químicamente la orina y el suelo en el laboratorio, para poder llevar a cabo las pruebas de suelo en columnas de acrílico, a las cuales se dosificó orina humana a una cantidad de suelo definida, evaluando el efecto en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) e iones intercambiables (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) antes y después de las pruebas, con la finalidad de aportar la mayor información del efecto de la orina en los dos suelos.

Adicionalmente se realizaron dos pruebas mecánicas a los suelos, de granulometría y de deformidad, para apoyar los resultados físicos y químicos.

El sitio de muestreo de los suelos fue en el municipio de Los Reyes Michoacán, la cual es una zona agrícola donde hay contaminación por este tipo de residuo sanitario. Debido a esta situación de contaminación por estos residuos, este trabajo propone como una alternativa de remediación el reciclado de la orina humana para el aprovechamiento de los nutrientes contenidos en ella y pueda ser aplicada en los cultivos como fertilizante.

Con base en la bibliografía consultada de trabajos previos sobre la aplicación de orina como fertilizante, en este trabajo se tomó la decisión de establecer dos dosis; 1) 150mg de N que corresponde a una concentración baja de nitrógeno y la 2) de 250mg de N con el propósito de establecer concentraciones altas y observar las variaciones que ocurren en los parámetros seleccionados para monitorear los cambios.

El estudio muestra que la aplicación de orina humana en suelo como fertilizante para la agricultura es posible, como se pudo observar en estos estudios

preliminares de dosificación de orina y como este estudio trata un tema muy amplio que abarca desde la separación, tratamiento y almacenamiento de la orina, como también el ahorro de agua y la identificación de suelos, se recomienda para próximos trabajos extender el estudio para realizar pruebas de aplicación de orina humana a diversos cultivos, con el propósito de observar y analizar el comportamiento de éstos con la orina, así como también la utilización de baños ecológicos para el ahorro de agua.

Introducción

El hombre forma parte de un ecosistema del cual obtiene todo lo necesario para su subsistencia. Este hecho, implica una serie de interrelaciones simbióticas y evolutivas entre el hombre y el ambiente, las cuales se han desarrollado en diferentes direcciones a través del tiempo (Catedral, 2000; Bye, 1993; Hernández, 1993; Hernández, 1991). Es cierto que desde la aparición del hombre, ha estado en contacto con el medio natural, pero también es cierto que los primeros hombres no contaban con el pleno conocimiento de ese medio, de ahí que su relación fuera meramente dependiente y les diera su calidad de nómadas, pues sólo se defendían de las inclemencias del entorno. En el momento en que el ser humano empezó a tener conciencia de los elementos naturales, establece los primeros asentamientos y se acumulan los conocimientos básicos no sólo para obtener alimentos, sino también para producirlos, dando inicio a la agricultura.

El comienzo de la agricultura se encuentra en el período Neolítico (8500 a. C), con sus primeros cultivos, trigo y cebada (Figura 1). Sus orígenes se pierden en la prehistoria y su desarrollo se produjo en varias culturas de forma independiente, como las culturas precolombinas de América Central, la cultura desarrollada por los chinos al este de Asia, etcétera. (Marcel M., Laurence R. 2002; LUELMO 1975).

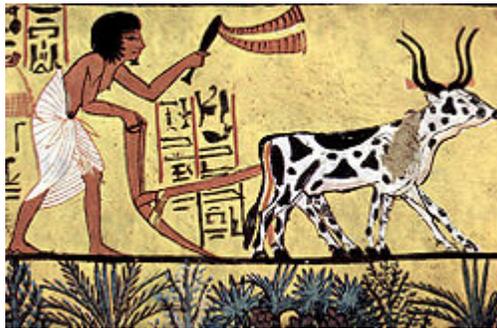


Figura 1. Campesino arando. Pintura en la tumba de Sennedyem, ca. 1200 a.C. Egipto.

Los inicios de la agricultura mexicana se puede ubicar entre 7800 a 1500 a.C. (UNAM 2004), y abarca numerosos productos, principalmente: arroz, frijol, maíz en grano, trigo, ajonjolí, cártamo, algodón en semilla, soya, cebada y sorgo en grano, que constituyen el grueso de la alimentación popular. Otros cultivos importantes son: aguacate, fresa, frijol de soya, limón, mango, manzana, melón, naranja, nuez, piña, plátano y uva, los cuales sirven en forma sustancial para la exportación, la cual aporta grandes ingresos en divisas.

La alta demanda de alimentos de origen agrícola por la creciente población, la influencia del mercado y la sociedad, ha generado una sobreexplotación y mal uso de los recursos naturales renovables. Tal es el caso de los recursos edáficos, suelos aptos y no aptos para la agricultura. Éste recurso natural puede agotarse o perderse si se trabaja en forma permanente, es decir, sin darle un periodo de recuperación, lo que provoca la disminución paulatina del rendimiento. Por ello, se buscan técnicas que optimicen las posibilidades del suelo, como la rotación científica de los cultivos, o bien el uso racional de fertilizantes y abonos químicos destinados a mejorar y aumentar la producción agrícola.

Una manera de regresarle los nutrientes al suelo es mediante la aplicación de fertilizantes naturales, como son los residuos sanitarios, tales como la orina y las heces, en este caso, el estudio se enfoca en específico en la orina humana.

Cada vez aumenta la importancia de mantener los suelos fértiles a nivel internacional pues el uso de fertilizantes hace crecer los cultivos esto representa un alto costo en la producción de alimentos. Por tal motivo, la aplicación de orina humana es una alternativa de alta calidad por su aportación de nitrógeno (N) y minerales, a un bajo costo. Existen estudios de la aplicación de orina humana, dentro de los cuales destacan: los cultivos de jitomate (Pradhan *et al.*, 2009); los cultivos de col (Pradhan *et al.*, 2007); los cultivos de pepino (Heinonen-Tanski *et al.*, 2005); los cultivos de maíz (Guzha, 2005); los cultivos vegetales y maíz (Mnkeni *et al.*, 2004).

En México existe poca información documentada con respecto al comportamiento del suelo ante la aplicación de orina humana, por esta razón se desea establecer generalidades de las cantidades óptimas de orina humana para la sustentabilidad de los suelos agrícolas, todo esto a escala de laboratorio. El propósito de este trabajo es, evaluar la aplicación de orina humana como fertilizante natural, en suelos de uso agrícola, mediante el efecto en la capacidad de intercambio catiónico e iones intercambiables.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la aplicación de orina humana como fertilizante natural, en dos tipos de suelo de uso agrícola, mediante el efecto en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) e iones intercambiables (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}).

Objetivos específicos

Evaluar pH, conductividad, N total, metales y aniones en la orina, después de un periodo de almacenamiento de 5 meses, a temperatura ambiente.

Determinar las propiedades físicas (textura, granulometría y color) y químicas (pH, conductividad, CIC, iones intercambiables (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}) y N total) del suelo ácido y neutro en sus condiciones iniciales de la zona agrícola de Los Reyes Michoacán.

Aplicar la orina humana en dosis diferentes, correspondientes a 150 y 250 mg de N, en los dos tipos de suelo, ácido y neutro.

Evaluar la variación de pH, conductividad, CIC, iones intercambiables (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}) y N total, en los suelos, ácido y neutro, después de aplicar las dosis de orina humana.

Hipótesis

Si la capacidad de intercambio catiónico del suelo aumenta al aplicarle orina humana, entonces la fertilidad de estos suelos se mejorará por el aporte nutrimental que contiene la orina.

2. Antecedentes

En los últimos años los residuos sanitarios, se han citado con mayor fuerza en las pláticas de ahorro de agua y sustentabilidad, debido a que no se sabe cómo tratarlos. El buscar una aplicación o uso de los residuos sanitarios, en específico de la orina humana, no es algo sencillo debido a que la población tiene la idea de que es sucio por el simple hecho de que es un desecho sanitario, sin embargo se trata de cambiar esa idea o pensamiento. Un buen ejemplo en el cual se puede utilizar la orina es como fertilizante natural para los cultivos por su alto contenido de nitrógeno. Por otro lado en cuanto al ahorro de agua un excelente ejemplo son los baños ecológicos o secos los cuales no utilizan agua para su funcionamiento. Este tipo de baños ya se está viendo utilizados en varios lugares, como en la facultad de ingeniería de la UNAM, la cual tiene implementada en los baños de hombres, mingitorios ecológicos, los cuales ahorran una cantidad de agua por persona por año de alrededor de 15,000 L por WC.

Un caso particular, es el de Los Reyes Michoacán, una zona de cultivo extensivo donde hay indicios de contaminación por este tipo de residuos en zonas aledañas al cultivo de la zarzamora. En esta zona agrícola se cultiva zarzamora, caña y aguacate, y presenta la problemática, por tanto, puede ser factible encontrarle un aprovechamiento en la agricultura (Martínez J.L., Monje I., 2009).

Se tiene conocimiento que desde la antigüedad la aplicación de la orina y heces en los cultivos para aportar nutrientes a las plantas es común. Este trabajo sólo toma en cuenta el uso de la orina, la cual contiene nutrientes para las plantas como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), los cuales se encuentran en cantidades significativas, pues contiene, según Ciba-Geigy, 1977, del orden de 8830 mg/L de N, de 800 a 2000 mg/L de P y 2730 mg/L de K. Estas cantidades

reportadas según Maurer *et al.*, 2006, corresponde entre el 80% de N, 90% de P y 50% de K de los nutrientes presentes en el agua residual doméstica. Dentro de las cuales, solamente el 1% del volumen total de éstas aguas residuales lo ocupa la orina, por lo cual, separar a la orina antes de mezclarse con las aguas residuales es un punto importante para el ahorro de agua potable y la disminución de contaminación por la disposición de los residuos al drenaje.

Existen reportes de experimentos del uso de la orina humana como fuente de nutrientes para los suelos y los cultivos, en los cuales se les dosifica cierta concentración de orina en una relación, orina: agua, de 1:3 (Mnkeni *et al.*, 2004).

En lo reportado en los artículos consultados (Pradhan *et al.*, 2009; Pradhan *et al.*, 2007; Heinonen-Tanski *et al.*, 2005; Tidåker *et at.*, 2005; Guzha, 2005; Mnkeni *et al.*, 2004) las dosis que aplicaron de orina se muestran en el compendio de dosis utilizadas en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Dosis utilizadas en trabajos previos

Autor	Dosis de orina	Parámetro contenido en la orina		
		Nitrógeno total	Fósforo total	Potasio
Mnkeni <i>et al.</i> , 2004	500 mL por maceta (12kg).	Tres dosis 3.7, 6.4, 9.6g N/12kg por maceta.	--	--
Tidåker <i>et al.</i> , 2005	35.5 tons de orina por hectárea	2.3 kg/m ³	0.23 kg/m ³	--
Ghaza 2005	100 mL de orina por cultivo	--	--	--
Heinonen-Tanski <i>et al.</i> , 2005	Tres dosis total de orina aplicada 9.7 L/m ²	2.4 g/L	0.15 g/L	0.59 g/L
Pradhan <i>et al.</i> , 2009	4 dosis de 455 mL por cultivo (1.5 x 2.25 m)	8.36 g/L	0.7 g/L	2 g/L
Pradhan <i>et al.</i> , 2007	7 dosis (1.4, 1.6, 2.0, 2.0, 2.0 y 1.9 L/parcela). Parcela 4.5 m ²	0.93 g/L	0.06 mg/L	0.36 mg/L
Pradhan <i>et al.</i> ,*	4 dosis de 455 mL por cultivo (1.5 x 2.25 m)	8.36 g/L	0.7 g/L	2 g/L

2.1 Marco Teórico

Antes de abordar el tema de la aplicación de la orina humana en el suelo, es necesario hablar de lo que caracteriza al suelo y a la orina, para poder comprender un poco más la razón de este trabajo.

2.1.1 Suelo

Muchos autores definen al suelo como la capa más superficial de la corteza terrestre, que resulta de la descomposición de las rocas por los cambios bruscos de temperatura y por la acción del agua, del viento y de los seres vivos. Otra definición que se utiliza en ciencias de la tierra: -“se denomina suelo a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activo, que tiende a desarrollarse en la superficie de las tierras emergidas por la influencia de la intemperie y de los seres vivos”-(Tarbuck, 2005).

La edafología es la ciencia que se encarga de estudiar al suelo y sus cambios, mediante el análisis de su mineralogía, su física, su química y su biología. Por este motivo, el suelo no es una entidad estrictamente geológica, por lo que la edafología está vinculada a la geología, a la biología y a la agronomía.

Desde el punto de vista biológico, las características del suelo más importantes son su permeabilidad, relacionada con la porosidad, su estructura y su composición química. Los suelos retienen las sustancias minerales que las plantas necesitan para su nutrición y que se liberan por la degradación de los restos orgánicos (Sullivan, 2007).

Otra característica del suelo es su capacidad de campo (CC), es la capacidad que tiene el suelo de contener agua o humedad y retenerla hasta antes que caiga la primera gota (López-Mtz *et al.*, 2001; Buckman y Brady 1977; Israelson, 1922).

Los componentes del suelo se pueden clasificar en inorgánicos, como la arena, la arcilla, el agua y el aire; y orgánicos, como los restos de plantas y animales. Uno de los componentes orgánicos de los suelos es el humus. El humus se encuentra en las capas superiores de los suelos y constituye el producto final de la descomposición de los restos de plantas y animales, junto con algunos minerales; tiene un color de amarillento a negro, y confiere un alto grado de fertilidad a los suelos.

2.1.1.2 Propiedades del suelo

El suelo, como se mencionó, es una mezcla de materiales sólidos con agua y aire, la relación que tienen estos componentes determina la capacidad del suelo para poder sustentar a las plantas y le da al mismo ciertas propiedades. Las propiedades que afectan a la totalidad del suelo y reflejan su comportamiento físico se conocen como propiedades mecánicas del suelo. Aquellas propiedades que dependen de su composición química se denominan precisamente propiedades químicas del suelo (Brack y Mediola, 2006; UE, 2005).

Entre las propiedades de los suelos se encuentran: El color, distribución del tamaño de las partículas, consistencia, textura, estructura, porosidad, humedad, pH, materia orgánica, capacidad de intercambio iónico y sales solubles, entre otras.

2.1.1.2.1 Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los suelos dependen de la composición mineralógica, de la forma y del tamaño de las partículas que lo forman y del ambiente que los rodea. Dentro de las propiedades físicas se encuentran: el color, distribución del tamaño de partícula, consistencia, textura, estructura, porosidad y humedad. El tamaño, la forma y la composición química de las partículas determinan la permeabilidad, la capilaridad, la cohesión y otras propiedades resultantes de la combinación de todos los constituyentes del suelo. Las propiedades físicas permiten conocer mejor las actividades agrícolas fundamentales como el laboreo, la fertilización, el drenaje, la irrigación, la conservación de suelos y agua, así como el manejo adecuado de los residuos de las cosechas. Tanto las propiedades físicas como las químicas, biológicas y mineralógicas determinan, entre otras, la productividad de los suelos (Rucks *et al.*, 2004).

Color

Los suelos muestran una gran variedad de aspectos, dentro de los cuales están la fertilidad y las características químicas en función de los materiales minerales que lo forman. El color es uno de los criterios más simples para calificar las variedades de suelo. La regla general, aunque con excepciones, es que los suelos oscuros son más fértiles que los claros. La oscuridad suele ser resultado de la presencia de grandes cantidades de humus. A veces, sin embargo, los suelos oscuros o negros deben su tono a la materia mineral o a humedad excesiva; en estos casos, el color oscuro no es un indicador de fertilidad.

Los suelos rojos o castaño-rojizos suelen contener una gran proporción de óxidos de hierro que no han sido sometidos a humedad excesiva. Por tanto, el color rojo es, en general, un indicio de que el suelo está bien drenado, no es húmedo en exceso y es fértil.

Consistencia

El suelo es un sistema disperso, debido a que contiene una infinidad de componentes distribuidos en él, dentro del cual se distinguen tres fases: sólida, líquida y gaseosa (Thompson *et al.*, 1982).

Sólidos: Comprende, principalmente, los minerales formados como ejemplo: sílice o arena, arcilla y cal. También incluye el humus.

Líquidos: Comprende el agua de la hidrosfera que se filtra por entre las partículas del suelo.

Gaseosos: Tiene una composición similar a la del aire que respiramos, aunque con mayor proporción de dióxido de carbono (CO₂). Además, presenta un contenido muy alto de vapor de agua. Cuando el suelo es muy húmedo, los espacios de aire disminuyen, al llenarse con agua.

Textura

La textura del suelo se define como la mezcla de materiales de diferentes características que se pueden separar y clasificar de acuerdo con su tamaño, propiedades y origen. La textura es la sensación que da al tacto el suelo húmedo como resultado de la mezcla de las partículas minerales (arcillas, limos, arenas) y la materia orgánica, presentes en el suelo (Aguilera, 1989; FitzPatrick, 1987). La determinación de la cantidad de las partículas presentes en el suelo se llama análisis mecánico o análisis del tamaño de las partículas. Las partículas del suelo han sido divididas exclusivamente en función de su tamaño, sin importar su composición, peso y color. Los suelos se dividen en suelos de textura fina, media o gruesa en su forma más general (Aguilera, 1989; FitzPatrick, 1987).

Para realizar la clasificación de textura del suelo, se utiliza el triángulo de textura, figura 2.1., el cual presenta 12 clases de textura básica que dependen del porcentaje de arenas, limos y arcillas presentes en el suelo (NOM021-RECNAT-2000; Aguilera, 1989; FitzPatrick, 1987).

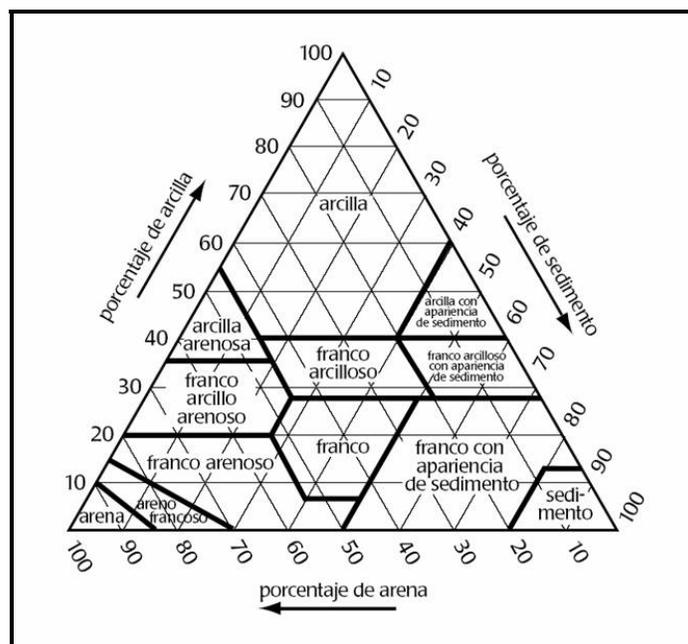


Figura 2.1. Triángulo de textura de suelos por porcentaje.

La clasificación de las partículas que constituyen al suelo se diferencian de la siguiente manera: las partículas de arena tienen diámetros entre 0.05 y 2 mm, las de limo entre 0.002 y 0.05 mm, y las de arcilla son menores que 0.002 mm.

En general, las partículas de arena pueden verse con facilidad y son rugosas al tacto. Las partículas de limo apenas se ven sin la ayuda de un microscopio y parecen harina cuando se tocan. Las partículas de arcilla no son visibles a simple vista, se requiere microscopio para observarlas y forman una masa viscosa cuando se humedecen (Rucks *et al.*, 2004).

Estructura

Se entiende, como estructura de un suelo, a la distribución o a las diferentes proporciones que presentan los distintos tamaños de las partículas sólidas que lo forman, las cuales son:

Materiales finos, (arcillas y limos), de gran abundancia en relación a su volumen, lo que les confiere una serie de propiedades específicas, como: cohesión, adherencia, absorción de agua y retención de agua.

Materiales gruesos, entre los que se encuentran fragmentos de la roca madre aún sin degradar, de tamaño variable.

La roca madre es el material sobre el cual se desarrolla y proporciona su matriz mineral al suelo, se define como la roca inicial antes del proceso de degradación, llamado intemperismo.

Los componentes sólidos del suelo no quedan sueltos y dispersos, sino más o menos aglutinados por el humus y los complejos órgano-minerales, creando unas divisiones verticales que se denominan horizontes del suelo.

La evolución natural del suelo produce una estructura vertical. Las capas que se observan se llaman horizontes y son muy importantes para definir un suelo, esto se hace mediante la nomenclatura de letras "A, B, C", como se muestra en la

figura 2.2., y su diferenciación se debe tanto a su dinámica interna como al transporte vertical. El transporte vertical es el proceso del paso de sustancias de un lado a otro. Éste transporte tiene dos dimensiones con distinta influencia según los suelos. La lixiviación, o lavado, la produce el agua que se infiltra y penetra verticalmente desde la superficie, arrastrando sustancias que se depositan en el suelo sobre todo por adsorción. La otra dimensión es el ascenso vertical, por capilaridad, importante sobre todo en los climas donde alternan estaciones húmedas con estaciones secas (Rucks *et al.*, 2004; Bohn *et al.*, 1993).

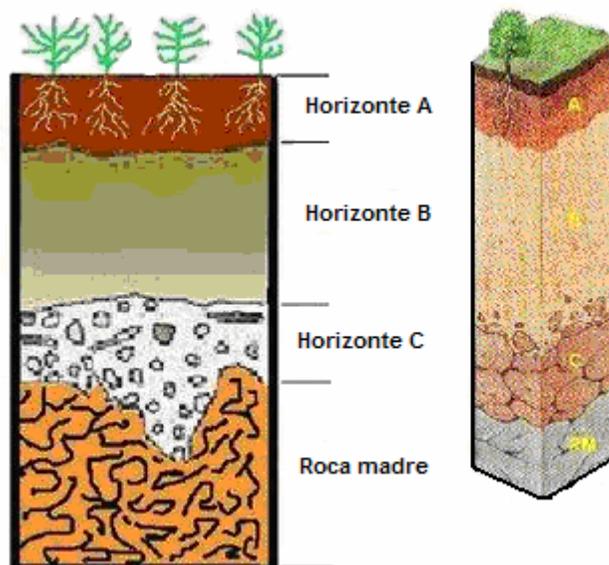


Figura 2.2. Horizontes del suelo.

2.1.1.2.2 Propiedades químicas

a) pH

Una propiedad importante del suelo es el valor de pH, es decir, el grado de acidez, alcalinidad o neutralidad que éste tiene (Buckman y Brady, 1977).

El concepto de pH se deriva de la disociación del agua (H₂O), y lo que indica es la concentración de iones {H⁺} relacionada con el pOH que indica la concentración de iones {OH⁻} en la solución (Bohn et al., 1993; 1990; Aguilera, 1989; Fassbender y Bornemisza, 1987).

El pH por definición es el logaritmo, base diez, del inverso de la concentración de iones {H⁺} en moles por litro. Cuando el suelo contiene igual cantidad de {H⁺} y {OH⁻}, implica que ($\{H^+\} = \{OH^-\} = 1.0 \times 10^{-7}$) se tiene un pH neutro; cuando es mayor la cantidad de {H⁺} que de {OH⁻} la solución es ácida, y cuando hay menos {H⁺} que {OH⁻} la solución es básica o alcalina. De esta forma se tienen diferentes grados de acidez o alcalinidad expresada en términos de pH, que se conoce como reacción del suelo (Bohn *et al.*, 1993; 1990; Fassbender y Bornemisza, 1987).

Con base en la NOM 021-RECNAT-2000, en la tabla 2.2., se hace una clasificación de la categoría de los suelos conforme al pH.

Tabla 2.2. Criterios de categoría y pH del suelo

Categoría	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Medianamente alcalino	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalino	8.5

Criterios de evaluación de un suelo con respecto a su pH (NOM-021-RECNAT-2000).

b) Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y Cationes Intercambiables

Todas las moléculas, en mayor o menor medida, tienen minúsculas cargas eléctricas, positivas y/o negativas. Por ello, en el suelo actúan como pequeños imanes, formando entre ellas estructuras que pueden ser muy simples, como la atracción entre una partícula de arcilla cargada negativamente y una partícula de un fertilizante cargada positivamente; o muy complejas, como cuando hay materia orgánica con infinidad de cargas eléctricas de ambos signos.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), es la capacidad del suelo para retener e intercambiar diferentes elementos minerales. Esta capacidad aumenta notablemente con la presencia de materia orgánica, y podría decirse que es la base de lo que se llama fertilidad del suelo.

La CIC, se refiere sobre todo a los cationes de intercambio de metales alcalinos y alcalinotérreos sobre todo a los cationes básicos como son Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ , debido a su tamaño y a su carga, lo cual ocasiona una menor oportunidad de precipitar. Estos cationes son llamados bases porque, generalmente, cuando las cargas positivas exceden a las negativas, existen suficientes iones OH^- para alcalinizar el sistema, formando bases, no todos los cationes son básicos también existen cationes ácidos como son: H^+ y Al^{3+} . La CIC es conocida también como capacidad de intercambio de bases o capacidad de adsorción de bases; que es la cantidad de cationes intercambiables que un suelo puede adsorber a pH 7. El proceso de intercambio se da de manera reversible y rápida, es decir, adsorben cationes de la fase líquida y se desadsorben al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes (Ortiz y Ortiz, 1990).

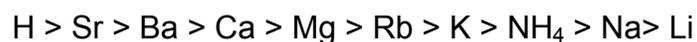
Existen 2 tipos de intercambio iónico: el intercambio catiónico y el intercambio aniónico, éste último menos frecuente que el primero. Ambos dependen de las cargas que se encuentran en las arcillas y los componentes orgánicos. Esto se debe tanto a la carga permanente, que se refiere a los cationes que debían formar los cristales de la matriz del suelo se sustituyeron por otros cationes de igual tamaño pero valencia menor, independiente del pH, o a la carga variable que depende directamente del pH. Los iones intercambiables son los iones que permanecen en la solución del suelo y se encuentran asociados con la superficie sólida del suelo, estos son difíciles de remover por lavado, a menos que la solución con la que se traten de remover contenga sales neutras que suministren cationes que se intercambien con los adsorbidos por los coloides (Porta *et al.*, 1994; Ortiz y Ortiz, 1990; Aguilera, 1989; FitzPatrick, 1987). Estos iones solubles son competidores deficientes por la carga superficial, por tanto permanecen de manera predominante en la solución del suelo (Bohn *et al.*, 1993).

Dentro del intercambio catiónico las arcillas juegan un papel muy importante debido a que las propiedades del suelo tales como la adherencia, plasticidad, hinchamiento, adsorción de agua y la carga eléctrica están estrechamente relacionadas con el área superficial y estructura de la arcilla. Las arcillas que presentan una superficie grande son por lo general de mayor carga eléctrica y de mayor capacidad de intercambio de cationes. Las arcillas y coloides orgánicos son partículas extremadamente pequeñas de 1 a 1000 nm que se encuentran suspendidas en la solución de suelo y exponen de 40 a 800 m² de área superficial por gramo por lo cual estas porciones son las más activas del suelo tanto física como químicas (Ortiz y Ortiz, 1990)

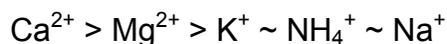
Las cargas negativas de las arcillas del suelo y la capa correspondiente de cationes intercambiables forman una doble capa en esta configuración, denominada "Doble capa de Helmholtz". Cuando el agua se encuentra presente, la superficie ya no retiene tan fuertemente a los cationes, la atracción electrostática de los cationes es contrarrestada un poco por la difusión que tiene a igualar las diferencias de concentración en la fase acuosa.

Dentro de la fase acuosa la fracción con mayor disponibilidad para la vegetación se encuentra en la parte de la solución de suelo cercana a la superficie coloidal, donde estos iones pueden intercambiarse por otros cationes fácilmente.

El poder de reemplazamiento en el complejo coloidal por cationes no es el mismo para todos pues dependen del radio iónico, de su carga y de su grado de hidratación. Se ha encontrado experimentalmente un orden descendente de energía de adsorción catiónica conocida como serie liotrópica (Ortiz y Ortiz, 1990), la cual es:



Bohn et al., 1993 menciona que la distribución de cationes en el suelo es diferente, para los principales cationes intercambiables en suelos agrícolas son:



La CIC depende de la textura del suelo y del contenido de materia orgánica. En general, entre más arcilla y materia orgánica haya en el suelo, la capacidad de intercambio es mayor. El contenido de arcilla es importante, debido a que estas pequeñas partículas tienen una gran capacidad de intercambio, debido a que cuánto más pequeña sea la partícula, más grande será la capacidad de cambio (NOM 021-RECNAT-2000).

Algunos ejemplos de valores de capacidad de intercambio catiónico para diferentes texturas de suelo se describen en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Textura y capacidad de intercambio catiónico de tipos de suelo

Textura del suelo	CIC (meq/100 g suelo)	CIC (cmol/kg)
Arenas (color claro)	3 – 5	3 - 5
Arenas (color oscuro)	10 – 20	10 - 20
Francos	10 – 15	110- 15
Franco limoso	15 – 25	15 - 25
Arcilla y franco arcilloso	20 – 50	20 – 50
Suelos orgánicos	50 - 100	50 - 100

Modificado del Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados IMP, 2006.

2.1.1.3 Nutrientes contenidos en los suelos

De acuerdo a la definición de nutrimento, es aquel elemento químico esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas (NOM-182-SSA1-1998). Para determinar si un elemento es esencial o no, dicho elemento debe de cumplir con los siguientes puntos (Hernández, 2001):

- Que la deficiencia del elemento impida que la planta complete su ciclo vital.
- El elemento no puede ser remplazado por otro elemento con propiedades similares.
- El elemento debe participar directamente en el metabolismo de la planta y su beneficio no debe de estar relacionado solamente al hecho de mejorar las características del suelo.

Diversos estudios han establecido que 16 elementos son los nutrientes esenciales para las plantas, de los cuales unos pueden ser minerales y otros no minerales, los no minerales están involucrados en la fotosíntesis de las plantas, mientras que los minerales se dividen en tres grupos: esenciales o primarios, son los que se requieren en grandes cantidades; secundarios, en cantidades intermedias (ambos pertenecientes a los macronutrientes) y; los micronutrientes, en cantidades muy pequeñas (Hernández, 2001; Bohn *et al.*, 1993).

En la tabla 2.5., se muestran los elementos correspondientes a cada grupo:

Tabla 2.5. Nutrientes presentes en el suelo			
No minerales	Minerales		
	Primarios	Secundarios	Micronutrientes
			Boro
			Cloro
Carbono	Nitrógeno	Calcio	Cobre
Hidrógeno	Fósforo	Magnesio	Hierro
Oxígeno	Potasio	Azufre	Manganeso
			Molibdeno
			Zinc

Fuente: Hernández, 2001; Bohn *et al.*, 1993

A continuación se describen algunos de los nutrientes minerales que se abordarán en el presente trabajo.

2.1.1.3.1 Macronutrientes

Los macronutrientes se definen como los elementos que la planta requiere en grandes cantidades, usualmente en cantidades mayores a 500 mg/kg de dichos elementos (Hernández, 2001; NOM-182-SSA1-1998).

Primarios

Nitrógeno (N)

El nitrógeno es un elemento indispensable para la vida, forma parte de las principales biomoléculas de todos los seres vivos. Es también uno de los elementos más abundantes de la Tierra, pues en su forma gaseosa (N_2) constituye 78% de la atmósfera. Sin embargo, la cantidad de nitrógeno presente en muchos suelos es escasa, debido a su propia dinámica y a su ciclo biogeoquímico. El nitrógeno puede llegar al suelo gracias a los aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire. Dentro del suelo es aprovechado por las plantas, animales y microorganismos que lo incorporan a sus tejidos. Cuando dichos organismos se mueren, el nitrógeno reingresa al suelo completando el ciclo. Este ciclo es complejo e involucra una serie de reacciones y organismos con diferentes metabolismos. Siempre comienza con nitrógeno atmosférico (N_2) que es transformado mediante los procesos de mineralización (paso de formas orgánicas a inorgánicas) e inmovilización (paso de formas inorgánicas a orgánicas), ambos procesos se dan de manera simultánea. Dentro de la mineralización, el N orgánico es transformado a NH_4^+ en la fase que se conoce como amonificación, posteriormente éste amonio es convertido a NO_3^- o NO_2^- en lo que se conoce como nitrificación. Por último, los nitratos (NO_3^-) son convertidos a nitrógeno gaseoso (N_2) en un proceso que se llama desnitrificación, reincorporándolo a la atmósfera y formando así el ciclo del nitrógeno, como se muestra en la figura 2.3., (Bohinski, 1998; Echarri, 1998).

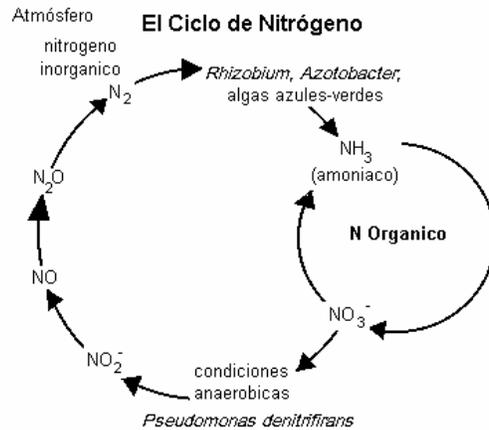


Figura 2.3. Ciclo del Nitrógeno

Para la mayoría de los materiales una relación C: N cercana a 10:1 mantendrá estos elementos en equilibrio aproximado. En los suelos normalmente el contenido de nitrógeno varía de 0.05 a 2% en sus diferentes formas (NOM 021-RECNAT-2000).

De acuerdo con la NMX-AA-24-1984, el nitrógeno total es la suma del nitrógeno orgánico y amoniacal presente en la muestra.

Fósforo (P)

El fósforo pertenece al grupo de los macronutrientes. Es necesario en todas las formas de vida, ya que es un elemento clave en muchos procesos fisiológicos y bioquímicos (Brack y Mediola, 2006). Químicamente, el fósforo puede encontrarse como fósforo inorgánico, orgánico, adsorbido y asimilable (García I., 2004).

Las raíces de las plantas absorben el fósforo de la solución acuosa del suelo por difusión y lo absorben en suelos relativamente ácidos en forma de $H_2PO_4^-$ (ortofosfato primario), o si se trata de suelos calcáreos en forma de HPO_4^{2-} (ortofosfato secundario); estas formas quedan disponibles al solubilizarse o romperse cualquiera de los compuestos fosfatados. La mayor cantidad de fósforo disponible se encuentra a un pH de 6.5 (Brack y Mediola, 2006; Hernández R, 2001).

Potasio (K)

El potasio pertenece también al grupo de los macronutrientes, es un elemento esencial para los organismos vivos. Los cultivos necesitan aproximadamente la misma cantidad de nitrógeno y potasio, pero también demandan más potasio que fósforo. El potasio, además de ser un macronutriente, se encuentra también dentro de lo que se conoce como bases intercambiables (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) (Brack y Mediola, 2006; Conti, 2004).

La demanda de las plantas por el K es muy similar entre diferentes especies, un exceso de K lleva a la acumulación del mismo en los órganos vegetativos; en las semillas la concentración es constante de aproximadamente 0.3%. El exceso de K puede intervenir en la absorción de algunos nutrientes y su carencia puede llevar a una mayor susceptibilidad a enfermedades, una menor resistencia a la sequía y un descenso en la calidad de la cosecha (Hernández, 2001).

El potasio (K) es absorbido por plantas en forma de K^+ ; este no forma compuestos orgánicos (Brack y Mediola, 2006). La absorción se encuentra influenciada por la presencia de Ca^{2+} y Mg^{2+} en suelos neutros (normales), por Al^{3+} en suelos ácidos y por Na^+ en suelos afectados por sales (Hernández, 2001).

Secundarios

Calcio (Ca)

El calcio se considera un nutriente secundario, dado que la demanda de las plantas por éste es menor que la de los primarios. El calcio es absorbido por las plantas en forma de catión Ca^{2+} , ayuda en el desarrollo de las raíces y hojas fortaleciendo la estructura de la planta y favoreciendo la formación de compuestos que son parte de las paredes celulares. Los síntomas de deficiencia de calcio se presentan con un pobre desarrollo de raíces y la consistencia gelatinosa de los fillos de hojas (Brack y Mediola, 2006).

La presencia del calcio en el suelo varía entre 0.1 y 25%; el calcio es un catión que se encuentra en forma de Ca^{2+} , el cual es intercambiable en la superficie de los coloides y ocupa generalmente el 70% o un poco más de los lugares de intercambio; se encuentra presente en la solución del suelo.

En el suelo se puede decir que existen tres tipos de compuestos de calcio (Buckman y Brady, 1977; Bohn *et al.*, 1993):

La fracción mineral, es la que forma parte de las partículas del suelo como feldespatos ($\text{CaAlSi}_3\text{O}_8$), calizas (CaCO_3) y yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{XH}_2\text{O}$). Todos ellos son insolubles y requieren de condiciones especiales para poder hacerse solubles; la fracción intercambiable absorbida por el complejo coloidal y que por las reacciones de intercambio pueden pasar a la solución del suelo y ser absorbido por las plantas; y la fracción intercambiable que se encuentra en la solución del suelo.

En suelos fértiles, el calcio intercambiable puede constituir del 70 al 80% de las bases intercambiables totales (Hernández, 2001).

Magnesio (Mg)

El magnesio se considera también un nutrimento secundario, pero sigue perteneciendo al grupo de los macronutrientes, esto es debido a la menor demanda de las plantas por él. Es absorbido por las plantas como catión que se encuentra en la forma Mg^{2+} , pero una vez en la planta interviene en la respiración y en la activación de muchas enzimas; también, junto con el nitrógeno, es el único nutrimento proveniente del suelo que forma parte de la clorofila, por lo cual se encuentra involucrado en la fotosíntesis. La deficiencia del magnesio se observa primero en las hojas viejas, que presentan color amarillento, bronceado o rojizo y las vainas se mantienen verdes. El Mg^{2+} se encuentra sujeto a intercambio catiónico, se encuentra en la solución del suelo, se absorbe con menos fuerza a las partículas que el calcio, por lo que se puede perder por lixiviación (Bohn *et al.*, 1993).

El magnesio se encuentra presente en el suelo en formas no intercambiables y solubles en el agua. El Mg en la forma no intercambiable se encuentra principalmente en los minerales primarios y secundarios (biotita $[H_2K(Mg,Fe)_3Al(SiO_4)_3]$, augita $[(Ca,Mg)Si_2O_6]$, olivina $[(Mg,Fe)_2SiO_4]$, etc.) y en los carbonatos minerales (dolomita $[Ca,Mg(CO_3)_2]$, magnesita $[MgCO_3]$) (Dana, 1986), las cuales predominan en las regiones áridas y semiáridas. Una pequeña parte de Mg se asocia con la materia orgánica del suelo. El contenido de magnesio total en los suelos no calcáreos varía entre 0.1 y 1%. El magnesio total en el suelo no es un indicador de su disponibilidad. La disponibilidad de magnesio en un suelo depende no solamente de la cantidad total presente, sino la cantidad en relación a la capacidad de intercambio de los coloides de suelo y de la naturaleza de los iones complementarios. Las pérdidas de magnesio del suelo son, en general, menores que las de calcio; estimándose que las cosechas extraen entre 10 y 60 kg por hectáreas por cosecha (Hernández, 2001).

2.1.1.3.2 Micronutrientos

Los micronutrientos se definen como los elementos que la planta requiere en pequeñas cantidades, usualmente en cantidades menores a 50 mg/kg (Hernández, 2001; NOM-182-SSA1-1998).

Los micronutrientos son el boro, cloro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc, los cuales pertenecen a los nutrientes minerales mostrados en la tabla 2.4. De éstos, se estudió el cloruro (Cl^-) y el sodio (Na^+), por su importancia en la CIC.

Cloruro (Cl^-)

El cloro se encuentra en la naturaleza combinado con otros metales en forma de cloruros. El ión cloruro (Cl^-) es el principal anión presente en el agua de mar.

Es absorbido por las plantas como anión, interviene en la regulación de la presión osmótica y produce el balance de los cationes en la savia celular de las células vegetales. Interviene también en el transporte de cationes K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} dentro

de la planta, regulando la apertura y cierre de las células guardianes en los estomas (Hernández, 2001).

Sodio (Na)

Este elemento no forma parte de los nutrimentos esenciales, más bien forma parte del grupo de cationes que se determinan en suelos. El sodio es de interés químico cuando se presenta en exceso, es decir, cuando se encuentra en el suelo en más del 5 al 15% de los cationes intercambiables, bajo estas condiciones su influencia es negativa, ocasiona la defloculación de las arcillas e impide el movimiento del agua. Por otro lado, cuando se tiene alto contenido de sodio intercambiable en suelos expansivos, se favorece la infiltración (Bohn *et al.*, 1993). Este proceso de acumulación en el suelo de sales se llama salinidad. Esto puede darse de dos formas: en forma natural, cuando se trata de suelos bajos y planos, que son periódicamente inundados por ríos o arroyos, o si el nivel de las aguas subterráneas es poco profundo y el agua que asciende por capilaridad contiene sales disueltas. El segundo es cuando este proceso tiene un origen antropogénico, generalmente está asociado a sistemas de riego (Blaylock, 1994).

2.1.1.3.3 No minerales

Carbono (C)

El carbono presente en los suelos forma parte del material orgánico e inorgánico, la suma de ambos es lo que se conoce como Carbono total y se divide de la siguiente forma: (Jackson, 1982):

- Carbono mineral, principalmente de CaCO_3 y MgCO_3 , cantidades pequeñas de CO_2 y también de HCO_3^- y CO_3^{2-} .
- Formas condensadas de composición próximas al carbono mineral elemental (carbón vegetal, grafito, hulla).
- Residuos de plantas, animales y microorganismos, resistentes y alterados (humus)

- Residuos orgánicos poco alterados, plantas, animales y microorganismos vivos y muertos que sufren descomposición rápida en el suelo.

El carbono se considera un nutriente esencial, interviene en todo el proceso esencial de la vida, es por ello que su ciclo es llamado “Ciclo del carbono”, que inicia con la asimilación de CO₂ por las plantas; las plantas son consumidas por el hombre y los animales, que lo devuelven en los residuos que son mineralizados y liberan CO₂, cerrando el ciclo del carbono (Buckman y Brady, 1977). En la tabla 2.3., se reúne la clasificación del suelo por contenido de carbón orgánico y materia orgánica.

Tabla 2.3. Clasificación para el contenido de Carbono Orgánico (CO) y Materia Orgánica (MO)

Interpretación	Porcentaje de CO	Porcentaje de MO
Muy bajo	Menor 1.2	Menor de 2
Bajos	1.2 a 2.9	2 a 5
Medios	2.9 a 4.6	5 a 8
Altos	4.6 a 8.7	8 a 15
Muy altos	Mayor a 8.7	Mayor de 15

Fuente: Fassbender y Bornemisza (1987)

2.1.2 Orina

2.1.2.1 Generalidades

La orina humana es un recurso natural, que se ha usado desde la antigüedad y ha sido aceptado por las sociedades. La orina contiene muchos nutrientes, los cuales son útiles para las plantas. Contiene grandes cantidades de nitrógeno en forma de urea y una pequeña cantidad en forma de ácido úrico (Heinonen-Tanski, *et al.*, 2005). También contiene potasio y fósforo, además de otros nutrientes necesarios en menor cantidad como el magnesio y el calcio, todos ellos de asimilación rápida por las plantas.

2.1.2.2 Propiedades

2.1.2.2.1 Propiedades físicas

Las propiedades físicas de la orina son; color, olor, densidad y volumen. Dentro de sus propiedades de ésta se identifica por ser un líquido acuoso transparente y amarillento, de olor característico, secretado por los riñones y eliminado al exterior por el aparato urinario.

2.1.2.2.2 Propiedades químicas

La composición química de la orina varía según la alimentación, el clima, la condición física y la talla de la persona (Sullivan and Grantham, 1982). Por ejemplo, la producida por animales herbívoros suele ser más alcalina y contiene más potasio y menos nitrógeno que la de los humanos, es la más adecuada para los cultivos, porque contiene menos sodio que la de los humanos. En la tabla 2.6 se muestra algunos de los constituyentes químicos en orina por día de una persona.

Tabla 2.6 Contenido de algunos parámetros en orina

Compuestos en orina humana	Cantidad
Sodio	40 – 220 meq / día (varía con la ingesta)
Potasio	25 – 125 meq/día (varía con la ingesta)
Calcio	<300 mg/día
Cloruro	10 – 15 g/día
Fósforo	0.6 – 1.2 g/día
Urea	20 – 25 g/24 h
Amonio	0.5 g/ 24h
Ácido úrico	0.5 - 1 g / 24h

Fuente: Germer, 2009; Kirchmann y Pettersson, 1995; Hammerly, 1979.

Dentro de las propiedades químicas se encuentran: el pH, el amonio, calcio, magnesio, sodio, yodo, cloruros, fosforo, azufre, cobre, urea y proteínas. El cuerpo humano elimina aproximadamente 1.4 L de orina al día, la cual contiene 96% de agua, 4% de sólidos en solución y aproximadamente 20 g de urea por litro. Cerca

de la mitad de los sólidos corresponde a urea, el principal producto de degradación del metabolismo de las proteínas. El resto incluye nitrógeno, cloruros, fósforo, amonio, creatinina y ácido úrico (Maurer *et al.*, 2006). En la tabla 2.7., se presenta algunos componentes de la orina humana en 1 L de orina.

Tabla 2.7. Composición de la Orina

Agua	96 % por litro
Sólidos en solución	4% por litro
Urea	20g por litro
pH	4.5 – 7.8

Maurer et al., 2006.

El pH es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H^+) en una sustancia. El pH no tiene unidades, se expresa simplemente por un número. Cuando una solución es neutra, el número de protones es igual al número de iones hidroxilo. Cuando el número de iones hidroxilo es mayor, la solución es básica o alcalina. Cuando el número de protones es mayor, la solución es ácida.

La orina ha sido filtrada por los riñones y contiene únicamente sustancias de bajo peso molecular. Al momento de la excreción, el pH de la orina está generalmente alrededor de 6, pero puede variar entre 4.5 y 8.2. El 75 -90% del N es excretado como urea, y el porcentaje remanente principalmente como amonio y creatinina (Lentner *et al.*, 1981). En la presencia de ureasa, la urea es rápidamente degradada a amonio y dióxido de carbono y los iones de hidróxido producidos normalmente incrementan el pH a 9 – 9.3 (Jönsson *et al.*, 2000; Vinnerås *et al.*, 1999).

2.1.2.3 Nutrientes contenidos en la orina

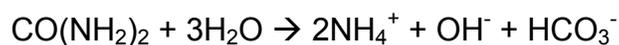
Nitrógeno (N)

El nitrógeno es un nutriente esencial en el crecimiento de las plantas, el cual se puede obtener en grandes cantidades en la orina en forma de amonio. Por esta razón la orina es considerada como un fertilizante rico en nitrógeno ideal para el crecimiento de los cultivos. La obtención de amonio, a partir de la orina, se obtiene de la degradación de la urea la cual es degradada a amonio por la ureasa.

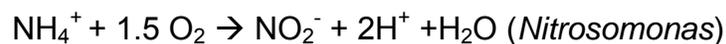
En la agricultura el uso de fertilizantes es muy común y necesario para que los cultivos se desarrollen, dentro de los fertilizantes más usados en el mundo como fuente de nitrógeno se encuentran la urea y el amonio. El amonio aplicado en los suelos de cultivo es transformado dentro de pocos días a nitrato. En suelos con una actividad microbiana muy baja, estas transformaciones pueden tomar más tiempo, debido a que son realizadas por microorganismos (Nitrosomonas y Nitrobacter).

Las reacciones son las siguientes (Jönsson *et al.*, 2000; Vinnerås *et al.*, 1999):

Reacción de la urea a amonio



El amonio es transformado en nitrato



La disponibilidad del N de la orina para las plantas es la misma que la de los fertilizantes químicos de urea o amonio. Esto es de esperar, ya que el 90-100% del N de la orina se encuentra como urea y amonio, que ha sido verificado en

experimentos de fertilización (Richert Stintzing *et al.*, 2001; Kirchman y Pettersson, 1995).

Fósforo (P)

El fósforo en la orina es prácticamente (95-100%) inorgánico y es excretado en forma de iones fosfato (Lentner *et al.*, 1981). Estos iones están disponibles directamente para las plantas, por lo que no es sorprendente encontrar que su disponibilidad para las plantas sea tan buena como la del fosfato químico (Kirchmann y Pettersson, 1995).

Potasio (K)

El potasio es excretado en la orina como iones, los cuales están disponibles directamente para las plantas. Esta es la misma forma provista por los fertilizantes químicos y por consiguiente su efecto fertilizante debe ser semejante.

Azufre (S)

El azufre es excretado principalmente en la forma de iones libres de sulfato, los cuales están disponibles directamente para las plantas. Esta es la misma forma de S que existe en la mayoría de fertilizantes químicos, y así el efecto fertilizante del S de la orina debe ser igual al de los fertilizantes de S químicos (Kirchmann y Pettersson, 1995; Lentner, 1981).

En la tabla 2.9., se presenta el contenido de nutrientes en la orina humana y se hace una comparativa con los nutrientes presentes en la orina de cerdo y bovino. Estos nutrientes son esenciales para el crecimiento de los cultivos.

Tabla 2.9. Contenido de nutrientes presentes en la orina humana del año 97 al 99 comparado con la orina de puerco y vaca

	Contenido de materia seca (%)	Nitrógeno total (kg/ton)	N-NH ₄ (kg/ton)	P (kg/ton)	K (kg/ton)
Orina humana 1997	0.7	3.7	3.4	0.30	1.0
1998					
Primavera	0.5	2.6	2.1	0.23	0.85
Verano	0.5	2.4	2.2	0.22	0.88
1999					
Primavera	0.8	2.3	2.3	0.21	0.73
Verano	0.4	1.9	1.8	0.14	0.53
Orina de puerco	0.6	0.63	0.53	0.07	1.0
Orina de bovino	1.2	1.7	1.4	0.04	3.0

Fuente Johansson 2000, modificado por Álvarez-Elizalde, 20011

2.1.2.4 Usos de la orina en la agricultura

A pesar del asco que produce la orina es un líquido estéril como la sangre y hay menos bacterias que en la saliva o en las heces. Sólo en casos de que el animal o humano este enfermo puede ser fuente de enfermedades (se puede almacenar durante un tiempo (ver tabla 2.8.), para que el incremento del pH al formarse amonio, mate a los posibles patógenos) (Germer, 2009; Sawyer, 2007).

Tabla 2.8. Tiempos de almacenamiento de la orina para su uso en los cultivos

Temperatura de almacenamiento	Tiempo de almacenamiento	Patógenos	Cultivo recomendado
4 °C	≥ 1 mes	Virus, protozoarios	Alimentos y forrajes
4 °C	≥ 6 mes	Virus	Alimentos y forrajes
20 °C	≥ 1 mes	Virus	Alimentos y forrajes
20 °C	≥ 6 mes	Probablemente ninguno	Todos los cultivos

Fuente: Johansson, 2001

La orina es una fuente valiosa de nutrientes, usada desde tiempos antiguos para aumentar el crecimiento de las plantas. Existen diferentes maneras de usar la orina, la manera más obvia es usar la orina directamente para fertilizar los cultivos. Otra posibilidad, es usar la orina para mejorar el proceso de compostaje de los sustratos ricos en carbono, pero sufre una pérdida considerable de amoníaco.

La orina usada directamente o luego del almacenamiento es una alternativa de alta calidad y bajo costo a la aplicación de fertilizantes minerales ricos en N en la producción vegetal. Los nutrientes en la orina están en forma iónica y su disponibilidad para las plantas es comparable con la de los fertilizantes químicos (Johansson *et al.*, 2001; Richert Stintzing *et al.*, 2001; Kvarmo, 1998; Kirchmann y Pettersson, 1995). La orina se aprovecha mejor como fertilizante directo para cultivos con alta demanda de N. Si existen recomendaciones para el uso de fertilizantes de N (urea, amonio o nitrato) en cultivos y en una región específica, un buen inicio para saber cómo usar la orina es extrapolar estas recomendaciones a la orina. La extrapolación se simplifica si la concentración de N contenida en la orina es conocida. Si no lo es, entonces una regla general es suponer una concentración de 3-7 g de N por litro de orina (Jönsson y Vinnerås, 2004; Vinnerås, 2002). La orina contiene también grandes cantidades de P y K, pero debido a su alto contenido de N, sus relaciones P/N y K/N son más bajas que en muchos fertilizantes minerales usados para la producción vegetal.

La producción alcanzada cuando se fertiliza con orina varía en función de muchos factores. Un aspecto importante es la condición del suelo. El efecto de la orina, así como el de los fertilizantes químicos, es de alguna manera menor en un suelo con un bajo contenido orgánico que en un suelo con un alto contenido orgánico. La experiencia demuestra que es beneficioso para la fertilidad de los suelos aplicar tanto la orina y las heces u otros fertilizantes orgánicos en el suelo, pero deben ser aplicados en años diferentes y para diferentes tipos de cultivos (Jönsson *et al.*, 2004).

2.1.2.4.1 Usos de la orina en México

La orina humana ha sido usada como fertilizante en diversos estudios, dentro de los cuales en México destacan dos:

En uno de ellos se ha aplicado la orina como fertilizante en cultivos de lechuga en invernadero en México (Guadarrama *et al.*, 2001). Existen ensayos comparando la orina con la composta, la mezcla de orina y composta y sin fertilizante alguno. La dosis de aplicación fue de 150 kg de N total por hectárea en todos los ensayos, excepto para la muestra sin fertilizante. La orina dio la mejor producción de lechuga, a causa de su alta disponibilidad de N. Se reportan, en este estudio, resultados parecidos para otros cultivos de hortalizas.

En el otro se ha utilizado la orina como fertilizante en cultivos de amaranto (Clark, 2003). Los resultados demuestran que una combinación de orina y gallinaza, que es el estiércol de gallina preparado como abono, da la mayor producción, 2350 kg/ha. La gallinaza sola da una producción de 1900 kg/ha. La orina humana aplicada sola genera una producción de 1500 kg/ha y la muestra de control sin fertilizar dio una producción de 875 kg/ha. La cantidad de N aplicada fue de 150 kg N/ha en los tres ensayos. Un muestreo del suelo demostró que no existen diferencias entre los ensayos en lo que respecta a las características físicas o químicas.

3. Metodología

En este capítulo se describe la selección del sitio de muestreo, el muestreo, los materiales y equipos utilizados, así como los métodos analíticos aplicados y las condiciones establecidas para llevar a cabo la experimentación y dar cumplimiento a los objetivos de estudio propuestos.

3.1 Muestreo de suelo y orina

3.1.1 Suelo

Para la selección del sitio de muestreo se establecen los siguientes requisitos:

- Que sea una zona con uso de suelo agrícola
- Que cumpla con el pH requerido

En los Reyes, Michoacán, se llevó a cabo, por parte del Instituto de Ingeniería de la UNAM, el estudio “Diagnóstico de la problemática ambiental del cultivo de la zarzamora” (Martínez J.L., Monje I., 2009), particularmente por la disposición de los residuos humanos de los jornaleros en los cuerpos de agua y tiradero de basura. Aprovechando que en dicha región del estado de Michoacán existe la problemática, se considera una zona apropiada para recolectar suelo. Se trabaja con dos tipos de suelo, ácido y neutro, para observar su comportamiento con la dosificación de orina y ver que suelo responde mejor al exponerlos a dos concentraciones de orina. En el mapa de la figura 3.1., se identifican los puntos de selección para la extracción de los dos suelos.

La zona de estudio se ubica con Google earth, para dar una aproximación inicial de la zona, posteriormente se acude al INEGI para obtener información específica de la zona en un mapa edafológico, el cual contiene información de las condiciones químicas y físicas del suelo.

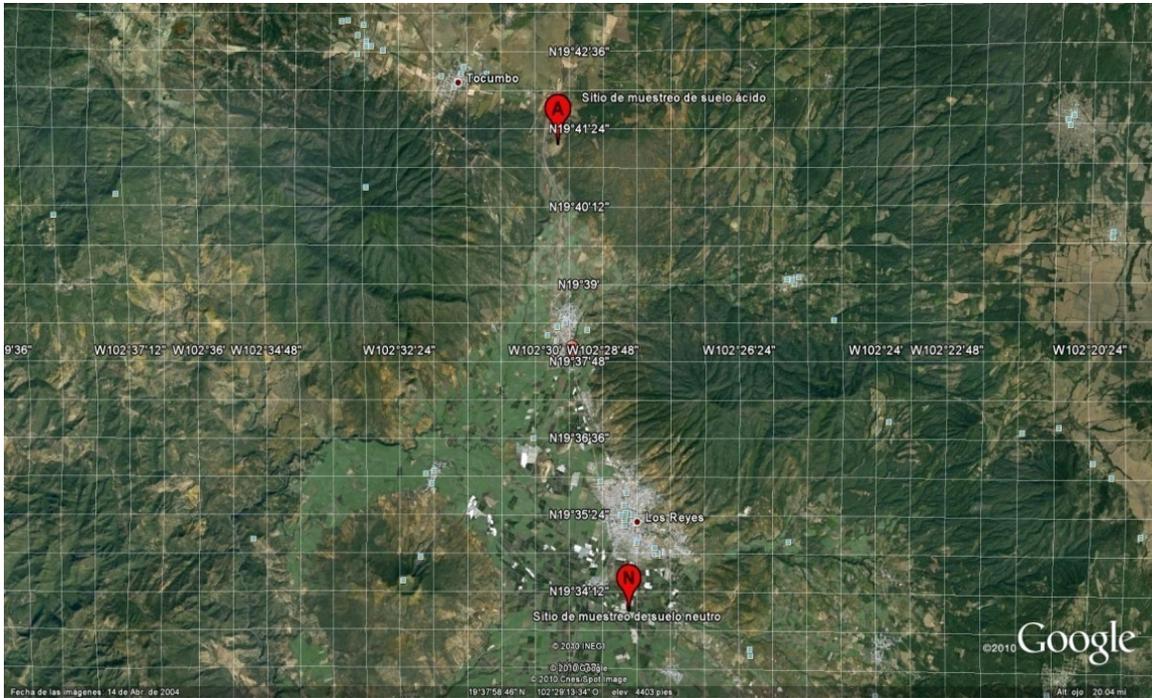


Figura 3.1. Sitios de muestreo de suelo ácido y neutro en el municipio Los Reyes, Mich.

En el mapa, el suelo con características de pH neutro, marca N (neutro), corresponde al de la zona de cultivo de la zarzamora (N 19° 33' 50" y W 102° 28' 20") a 1321 msnm (metros sobre el nivel del mar) y el ácido, marca A (ácido), que se localiza en la zona alta (N 19° 41' 12" y W 102° 29' 37") a los 1600 msnm al norte del municipio Los Reyes Michoacán.

El día de recolección de muestras fue el miércoles 2 de diciembre del 2009 en la zona Los Reyes, Michoacán.

Recolección de las muestras de suelo

Se limpia la zona (retirando plantas, hojas y residuos orgánicos), al tener la superficie libre de vegetación se quita aproximadamente unos 5 cm de suelo, ya que esta es la parte que se encuentra en contacto con el medio y está en constante cambio, por lo que no proporcionará las características reales del sitio. La descripción anterior se encuentra descrita en la NOM-021-RECNAT-2000, en la parte correspondiente al muestreo.

Una vez retirada la capa superficial, se escarba con pala y pico hasta una profundidad de 40 cm, se homogeniza la muestra, se divide en cuartiles y se guarda en bolsas de plástico para su transporte.

Las dos muestras que se obtuvieron de suelo corresponden al horizonte A, que va desde la superficie hasta los 60 cm de profundidad, para este tipo de suelos estudiados. Se trabaja a una profundidad de 40 cm, esto se debe a que dentro de este espacio y hasta los 60 cm se da el principal desarrollo de las raíces de las plantas (desarrollo radicular), por lo que este intervalo, correspondiente al horizonte A, es la zona de asimilación de nutrientes para el crecimiento de las plantas y en gran medida también determina la capacidad productiva de un suelo (Porta *et al.*, 1994). Ver figura 3.2.

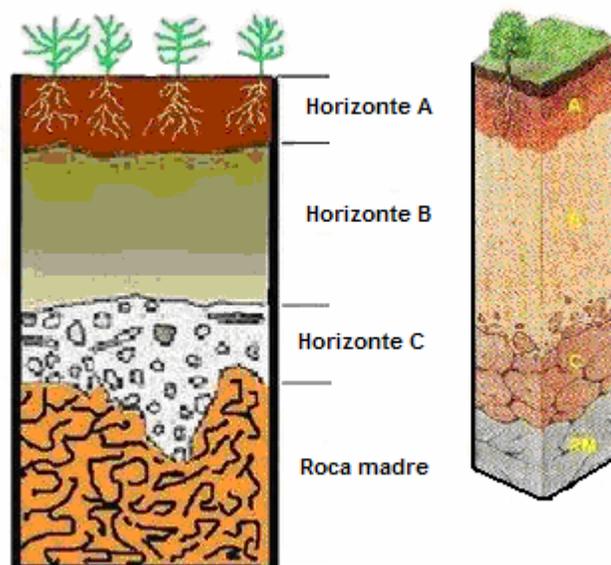


Figura 3.2. Horizontes del suelo

Suelo Neutro

La primera muestra que se recolectó fue la de suelo neutro que se encuentra en la zona de cultivos de zarzamora a una altura de 1321 msnm. La muestra se extrajo en la zona de la Alameda o Cofradía del Sr. Antonio Escalera. En estos suelos se

siembra zarzamora tipo TUPI y se recolectaron aproximadamente 40 kg de muestra de uno de los márgenes que se les da al cultivo como espacio de resguardo entre el cultivo y la brecha del paso de los vehículos. La hora de muestreo fue a las 12:37 horas y el pH evaluado fue de 7.0. Para quedar constatado de la toma de muestra se tomaron fotografías, una de las cuales se muestra en la figura 3.3. La tierra de esta zona es fácil de extraer debido a que es un suelo expansivo arcilloso y es negra.



Figura 3.3. Recolección de suelo neutro

Suelo Ácido

La segunda muestra que se recolectó fue de suelo ácido, el cual fue difícil de encontrar ya que este tipo de suelos sólo se encuentra en una zona pequeña a una altura de 1600 msnm, que tienen las características de ser de color rojizo con un alto contenido de raíces grandes y es un suelo bastante duro debido a que está muy compactado y contiene arcilla, por lo que el trabajo de extracción fue bastante laborioso (ver Figura 3.4.). La hora a la que se recolectó la muestra fue a las 14:00 horas y el pH fue de 6.0. La zona de muestreo fue en el Rancho Puente de Tocumbo, del Doctor. Secundino Zúñiga de Anda. La zona se encuentra a una altura de 1612 msnm, muy cerca de Cerro Prieto, Las Ánimas y La Guajolota;

entre la carretera de Santa Clara de Balladares y Tinguindin (ver marca A de la figura 3.1.).

La tierra recolectada contiene restos de raíces y piedras, pero, en general, a simple vista es una tierra limpia y con poca humedad. El suelo es de uso agrícola en el cultivo de aguacate.



Figura 3.4. Sitio de recolección de suelo ácido.

Tratamiento de las muestras

Una vez colectadas las muestras se transportan al laboratorio para su análisis.

El tratamiento que se le dió al suelo recolectado es: se seca a temperatura ambiente durante varios días, se tamiza por malla de 2 mm y se almacena en bolsas cerradas, de acuerdo a lo recomendado por la NOM-021-RECNAT-2000.

Los métodos utilizados en las determinaciones de las propiedades del suelo se indican en la tabla 3.1.

3.1.2 Orina

En el edificio 5, primer piso, del Instituto de Ingeniería se implementó el desvío de la corriente de un mingitorio seco para hacer la colecta de orina de otros estudios, misma instalación que se aprovechó para la colecta del residuo en este trabajo. A este sistema se le tuvo que dar mantenimiento constante para prevenir la obstrucción de la tubería por el depósito de residuos. Los días de recolección de muestra fueron del 1 al 4 de febrero del 2010, recolectándose del orden de 50 litros, los cuales representan del orden de 200 descargas de individuos que acudieron al servicio; esto se hizo con objeto de obtener una muestra representativa. En la figura 3.5., se muestra la fotografía del sitio de colecta de orina.



Figura 3.5. Sitio de muestreo de orina.

Colecta de muestra de orina

Para la colecta se lava el mingitorio y la tubería de descarga hasta el punto de muestreo, para ello se cerraron las válvulas, se vacía una solución desincrustante de ácido sulfúrico al 10% en 4 L de solución, se deja reposar durante 1 hora para remover el depósito o incrustación formada; posteriormente, se abre el sistema de

válvulas para drenar la solución, se le adiciona suficiente agua de enjuague, para asegurarse que no queden restos de ácido y de residuos en la red. Hecho esto, se empieza la colecta de orina, la primera colecta se desecha ya que es un enjuague del sistema con la muestra, lo cual asegura que no quede algún contaminante. La colecta se lleva a cabo en tambos de 20 L, previamente lavados, durante 5 días, contempla 12 horas de muestreo por día (7:30 a 19:30) debido a que las descargas son intermitentes. Los tambos de 20 L se vacían y almacenan en un contenedor de polietileno. Durante el periodo de colecta no se lava el sistema para no interrumpir el muestreo.

Tratamiento de la muestra

La muestra de orina, se almacena a temperatura ambiente, aproximadamente a 24°C, durante un periodo de 5 meses, el propósito de almacenarla durante un tiempo es para que el incremento del pH al formarse amonio, mate a los posibles patógenos. Transcurrido el tiempo se extrae una muestra homogenizada de aproximadamente 2 L para la caracterización en el laboratorio.

La orina se caracterizó según lo descrito en el Métodos Estándar (AWWA, 1982) y en la NOM-AA-051-SCFI-2001, para aguas residuales, como se describe en la tabla 3.2.

3.2 Materiales y equipos

Todo el material utilizado en el laboratorio para la experimentación es para el análisis cuantitativo y de uso exclusivo para las determinaciones, fue lavado con detergente no iónico, con excepción del material utilizado para la prueba de fosfatos que se lavó con Extran, detergente libre de fosfatos. Todo se enjuaga con agua destilada.

3.3 Caracterización de suelo y orina

Con base en los objetivos de este trabajo, a continuación se resumen en tablas los parámetros seleccionados para la caracterización, tanto del suelo como de la

orina recolectada para la experimentación. Las pruebas de caracterización se realizan por triplicado.

3.3.1 Suelo

Antes de determinar los parámetros físicos y químicos, se le hizo una prueba mecánica para saber que tipo de granulometría tienen los dos tipos de suelo, ácido y neutro, establecido en mecánica de suelos (IMTA, 1990), el cual es un método estandarizado para la identificación y caracterización de suelos.

La prueba granulométrica en húmedo consiste en pasar por mallas de diferente tramado las dos muestras de suelo, ácido y neutro. El método consiste en:

Pesar 1.5 kg de muestra de suelo, colocarlo en una charola de aluminio, humedecer la muestra con agua hasta cubrir completamente el suelo, dejar hidratar por 24 horas. Una vez pasado el tiempo de reposo, se mezcla el suelo con agua y se vacía en la malla de trama más grande la número 4, con un cepillo de cerdas de plástico se talla la muestra de suelo contra la malla suavemente para pasar el material por la malla, agregar el agua mínima necesaria para pasar todo el material por la malla. Este proceso de tallar el material contra la malla se repite para todas las mallas. Las mallas utilizadas fueron de los números 4, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200, siendo esta última la de trama más pequeña, para retener a las partículas de tamaño de 0.074 mm según la USCS (Unified Soil Classification System). El material que pase esta malla se le llama finos y corresponde al material de tamaño menor o igual a 0.074 mm, el cuál esta compuesto de limos y las arcillas.

Para evaluar los finos se hizo un proceso de sedimentación, el cual consistió en recolectar toda la suspensión de agua y suelo que pasó por todas las mallas en cubetas de plástico de 20 L. Se deja reposar por un periodo de 4 días, pasado este tiempo se decanta toda el agua superficial con una manguera con cuidado de no agitar el sedimento, realizado lo anterior pasar el sedimento a charolas de metal para darle un proceso de secado en estufa a 90°C por 24 horas. Este

proceso de secado, se le da tanto a los finos como para el resto del material obtenido en la granulometría.

Prueba de deformabilidad (IMTA, 1990). Es una prueba cualitativa para diferenciar entre limos y arcillas, el método consiste en:

Extraer una muestra de suelo, aproximadamente 5 g, agregar el agua necesaria, mezclarse vigorosamente hasta que se forme una masa de lodo. Con la masa de lodo se hace una tripa de lodo; si se puede hacer tiene plasticidad lo que demuestra la presencia de arcilla, si no se puede hacer o no es consistente y se rompe, entonces no tiene plasticidad e indica la presencia de limos. Los limos se definen como los finos no plásticos a diferencia de las arcillas.

Para corroborar que se tienen limos se realiza lo siguiente:

Se extrae una muestra de suelo, aproximadamente 5 g, se coloca en un vaso de precipitado y se le agrega agua, la necesaria para disgregar la muestra. La mezcla de suelo y agua se trasvasa a una probeta, a la cual se le agrega agua hasta un volumen de 150 mL, se agita y se deja reposar por media hora. Si después del tiempo de reposo se observa un cinturón, bien definido, translucido de agua en la parte superior de la suspensión, esto quiere decir que contiene una alta cantidad de limos.

Para complementar el estudio se realizaron los análisis de Difracción de Rayos X (DRX) y Fluorescencia de Rayos X (FRX) al suelo para poder conocer la composición mineral de los suelos.

El análisis de DRX se realizó con la muestra en base seca en un Difractómetro Philips modelo 1130/96 (generador) y PW1050/25 (goniómetro), utilizando radiación $\text{CuK}\alpha$. La análisis se basa en la dispersión coherente del haz de rayos X por parte de la materia y en la interferencia constructiva de las ondas de rayos X que se produce en determinadas direcciones de espacio que están en fase y que se dispersan en determinadas direcciones del espacio.

El análisis de FRX fue realizado con un espectrómetro secuencial Simens SRS 3000 calibrado con muestras de Referencia Geoquímica. El análisis cualitativo se realiza mediante un barrido con el goniómetro de toda la zona del espectro que se quiere obtener.

Para cubrir todo el rango de elementos analizables se realiza un barrido con cada uno de los cristales analizadores. Obteniendo una serie de máximo (picos) de fluorescencia. Estos picos se corresponden con las distintas longitudes de onda difractadas y constituyen el espectro característico de la muestra.

Determinación de parámetros

Al suelo colectado, ácido y neutro, se le determinan 17 parámetros físicos y químicos con el objeto de caracterizar los parámetros que aportarán la mayor información para la capacidad de intercambio catiónico (CIC). En la tabla 3.1., se resumen los parámetros seleccionados para la caracterización del suelo. La caracterización del suelo se fundamenta en la norma NOM-021RECNAT-2000.

Tabla 3.1. Parámetros y métodos seleccionados para la caracterización del suelo

	Parámetro	Método	Equipo
Físicos	Textura	Gravimétrico*	Rot-Tap
	Temperatura	Gravimétrico*	Termómetro digital
	Conductividad	En extracto de agua con conductímetro *	Conductímetro WTW
Químicos	pH	En agua medido con potenciómetro.*	Potenciómetro WTW
	CIC	Acetato de amonio por centrifugación.*	
	Na ⁺ K ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	Extracción con acetato de amonio y por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA).*	Espectrofotometría de Absorción Atómica Perkin Elmer, mod 1100B
	N total	La determinación de nitrógeno total se llevó a cabo con el método Kjeldahl, previa digestión.*	Digestor K-124 ,
	N-amoniacal	Destilación Kjeldahl*	Destilador K-350
	Cl ⁻	Argentométrico*	Volumétrico
	PO ₄ ³⁻ NO ₃ ⁻ NO ₂ ²⁻	Colorimétrico	Merck Spectroquant NOVA 60
	HCO ₃ ⁻ CO ₂ ²⁻	Volumétrico*	Titulación

*NOM-021-RECNAT-2000

3.3.2 Orina

A la orina colectada se le determinan 15 parámetros químicos, de los cuales se seleccionaron aquellos en los cuales se podría tener algún cambio o aporte en la

CIC en el suelo. En la tabla 3.2., se muestran los parámetros determinados, así como su método analítico, descrito en la AWWA, 1982, para aguas residuales.

Tabla 3.2. Métodos analíticos empleados para la caracterización de la orina

Parámetro	Método	Equipo
Temperatura	Potenciométrico*	Termómetro
Conductividad		Conductímetro
pH		Potenciómetro
N total	Kjeldahl*	Digestor K-124
N NH ₃		Destilador K-350
NO ₃ ⁻ NO ₂ ²⁻	Fotométrico*	Merck Spectroquant NOVA 60
Na ⁺ K ⁺ Mg ²⁺ Ca ²⁺	Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA)*	Espectrofotometría de Absorción Atómica Perkin Elmer, mod 1100B
Cl ⁻	Argentométrico*	Volumétrico
CO ₃ ²⁻ HCO ₃ ⁻	Volumétrico	Titulación
PO ₄ ⁻	Colorimétrico*	Merck Spectroquant NOVA 60

*AWWA, 1982

3.4 Condiciones experimentales

Como el propósito del estudio es evaluar el comportamiento que tienen los suelos, neutro y ácido, al exponerlos durante 20 días a capacidad de campo con dos dosis de orina, en la figura 3.6., se representa el arreglo matricial de las pruebas realizadas.

Suelo / Dosis orina	1	2
Ácido	A ₁ , D ₁	A ₂ , D ₂
Neutro	N ₁ , D ₁	A ₂ , D ₂

Figura 3.6. Arreglo matricial entre tipo de suelo y dosis de orina

Debido a las características heterogéneas del suelo, se decidieron hacer las pruebas por triplicado más un blanco, al cual sólo se le agregó agua destilada para monitorear las pruebas y poder evaluar el comportamiento del suelo.

El tiempo de experimentación de 20 días se selecciona de lo reportado en la bibliografía consultada (Powell, 1998; Whitehead, 1993). En la tabla 3.3., se esquematiza el arreglo experimental logrado para analizar el comportamiento de los tipos de suelo, el arreglo consiste en realizar por triplicado cada muestra con el objeto de tener resultados más confiables. El total de muestras fue de 16, ocho de suelo ácido y ocho de suelo neutro.

Tabla 3.3. Arreglo experimental

DOSIS	RÉPLICAS			
150	Blanco	R-1	R-2	R-3
300	Blanco	R-1	R-2	R-3

El dispositivo experimental se construye de acuerdo a lo descrito en el artículo de Powell, 1998. En el cual utilizan cilindros de plástico de 11 cm de diámetro por 150 cm de largo, los cuales se rellenan con suelo limpio de vegetación y se les dosifica orina. Con base en este artículo, se consideró para la experimentación del suelo, que fueran columnas de acrílico transparente de 28 cm de largo por 4 cm de diámetro, con un volumen total de 351.9 cm^3 , del cual el volumen ocupado por la muestra de suelo es de 163.36 cm^3 , equivalente a 300 g de suelos montados en la columna. Con objeto de retener el suelo en las columnas, se cortan tramos circulares de malla de acero inoxidable del número 30 (Abertura de 0.6 mm), que se colocan encima de aros del mismo material y que fueron pegados en la parte inferior del tubo de acrílico. Las columnas fueron montadas en unas gradillas o soportes de madera con capacidad para 6 columnas, construidas específicamente para soportarlas. En la figura 3.7., se muestra el arreglo de las columnas en el soporte.

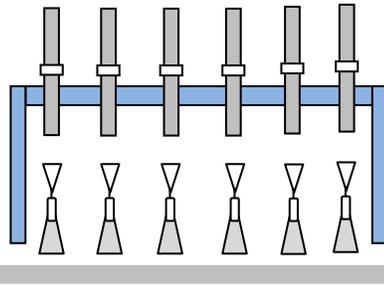


Figura 3.7 Esquema de las pruebas dosificando orina en suelo

3.4.1 Dosis aplicada

Se aplican 2 dosis de orina con agua a las muestras de suelo, la primera con una concentración de 150 mg de N total por kg de suelo, dosis 1, y la segunda con una concentración de 250 mg de N total por kg de suelo, dosis 2, a capacidad de campo de éste.

En la tabla 3.4., se muestra las concentraciones de orina de nitrógeno total (N total) dosificadas a cada suelo en miligramos por kg de suelo. La cantidad de orina y agua que se requiere adicionar al suelo depende de la concentración de N total que contiene ésta, de la capacidad de campo y de la cantidad de suelo elegido para empacar las columnas.

Tabla 3.4. Dosis de nitrógeno total de la orina seleccionada para aplicar al suelo

Suelo	Dosis	[mg N total/kg suelo]
Ácido Neutro	1	150
Ácido Neutro	2	250

La información anterior se obtiene de una muestra de orina colectada, a la cual se le hizo la determinación del contenido de nitrógeno total para poder conocer la concentración del parámetro en la orina con la que se experimenta. La

concentración de nitrógeno en la orina, como se reporta en la tabla 4.10., de caracterización, fue de 5535 mg/L. (Ver capítulo de resultados)

La dosis de agua agregada depende de la capacidad de campo (CC) del suelo en 300 g. Ese parámetro se evalúa al experimentar en el laboratorio la saturación de un kilogramo de suelo con agua.

En la tabla 3.5., se muestra la capacidad de campo de cada suelo.

Tabla 3.5. Capacidad de Campo (CC) de los tipos de suelos

Suelo	CC (mL/kg)	CC (mL/300 g)
Ácido	450	135
Neutro	367	110

En la tabla 3.6., se muestran las cantidades de suelo, capacidad de campo, cantidad de orina, nitrógeno y agua agregada para completar la dosis y llegar a la capacidad de campo del suelo para llevar a cabo las pruebas.

Tabla 3.6. Cantidades de orina y agua de dilución para dosificar a 300 g de cada suelo experimentado

Suelo	Peso de suelo(g)	C.C. (mL) de agua	Dosis		Agua agregada	Tempo (días)
			Orina (mL)	N (mg)	Agua (mL)	
Neutro	300	110	27.10	150	82.9	20
Neutro	300	110	45.17	250	64.83	20
Ácido	300	135	33.17	150	101.83	20
Ácido	300	135	55.44	250	79.56	20

3.4.2 Técnica del montaje y desmontaje de las columnas

Se pesan 16 muestras de suelo de 300 g, para ser montadas en cada una de las columnas de acrílico, previamente pesadas. Realizado lo anterior las muestras son compactadas, con el propósito de no dejar espacios huecos de suelo, dando diez

golpes a una altura de 6 cm contra una superficie dura. Una vez hecho lo anterior las columnas se montan en las gradillas de madera con capacidad para 6 columnas. Con las muestras ya lista para agregar las dosis de orina, la técnica a seguir es: dosis 1 de orina se aplica a 8 columnas de suelo, 4 del suelo neutro y 4 del suelo ácido; posteriormente se adiciona la dosis 2, repitiendo el mismo procedimiento en las 8 columnas restantes. Las columnas montadas y dosificadas se guardan en un cuarto a temperatura ambiente para ser monitoreadas por un periodo de experimentación de 20 días.

Después de los 20 días de experimentación se le da el siguiente tratamiento:

- Se desmonta de las gradillas las columnas
- Se vacía las muestras de suelo de cada columna en charolas y se homogeniza la muestra
- Se extrae una muestra de suelo de 7 g de cada una de las 16 muestras para su análisis.

3.5 Determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes intercambiables

El procedimiento para determinar la CIC y los cationes intercambiables se fundamenta en el descrito por la NOM-021-RECNAT-2000, en este capítulo se hace una descripción de las etapas relevantes de la misma. Además, se hace una descripción esquemática que se resume en el diagrama de la figura 3.8., que se encuentra al final de capítulo, así como también se detallan las expresiones utilizadas para hacer los cálculos de concentraciones.

Método

Determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) de los suelos por el método del acetato de amonio.

Principio y aplicación

El método para la determinación consiste en la saturación de la superficie de intercambio con un catión índice, el ión amonio, lavado del exceso de saturante con alcohol, desplazamiento del catión índice con solución de cloruro de sodio y determinación del amonio mediante destilación (Kjeldahl). El amonio se emplea como catión índice debido a su fácil determinación, poca presencia en los suelos y porque no precipita al entrar en contacto con el suelo. La concentración normal que se usa asegura una completa saturación de la superficie de intercambio, y como está amortiguada a pH 7.0, se logra mantener un cierto valor de pH. El lavado con alcohol pretende desplazar el exceso de saturante y minimizar la pérdida del amonio adsorbido.

Material y equipo

Tubos de centrífuga de 50 mL con fondo redondo; matraces Erlenmeyer de 125 mL; Agitador mecánico horizontal marca Eberbach 115 volts; Centrífuga con capacidad para 4 tubos y 2500 rpm, marca Sol-Bat, modelo C-300; Aparato de destilación modelo K-350 Büchi y tubos para destilación.

Procedimiento para determinar la CIC y cationes intercambiables

Se pesan 7 g de suelo a temperatura ambiente, se transfieren a un tubo de centrífuga de 50 mL. Se agregan 33 mL de solución de acetato de amonio. Se tapan y agitan en posición horizontal durante 10 minutos. Luego, se centrifuga hasta que el líquido sobrenadante esté claro. Esto se logra fácilmente centrifugando a 2500 rpm. Se decanta el líquido en un matraz de 100 mL. Repetir la extracción otras dos veces. Se aforan con acetato de amonio y se guardan para la posterior determinación de las cationes intercambiables (solución A).

Se agregan 30 mL de la solución de cloruro de amonio 1 N; se agitan durante 10 minutos y luego se centrifuga hasta que el líquido sobrenadante esté claro, desecharlo. Se adicionan 30 mL de la solución de cloruro de amonio 0.25 N, se

agita durante 10 min, se centrifuga y se desecha el sobrenadante. Se lava la muestra con porciones de alcohol de 30 mL agitando durante 10 minutos, se centrifuga y se elimina el sobrenadante cada vez. El lavado termina cuando la prueba de cloruros en el decantado es negativa, esto es, que no se observe un precipitado blanco.

Prueba de cloruros

Se pipetea 10 mL del sobrenadante alcohólico en un tubo de ensaye y se agregan 4 o 5 gotas de nitrato de plata, si se observa un ligero precipitado blanco, la reacción es positiva y se debe continuar el lavado hasta que la prueba de cloruros sea negativa.

Amonio adsorbido

Con tres porciones de 33 mL de cloruro de sodio al 10%, se agitan durante 10 minutos y se centrifugan cada vez. Se decantan cada reemplazo en un matraz volumétrico de 100 mL y se completa al volumen.

Determinar el amonio

A partir de una alícuota de 10 mL, la cual se transfiere a un matraz Kjeldahl de 300 mL, se le agregan aproximadamente 8 mL de NaOH al 40% y se conecta al aparato de destilación microKjeldahl. Se recoge el producto de la destilación en un matraz Erlenmeyer que contenga 10 mL de mezcla de indicador y ácido bórico. Se determina por titulación con H_2SO_4 0.21N.

Cálculos

La capacidad de intercambio catiónico se calcula de la siguiente forma

$$\text{CIC} = (F) (V) (N)$$

En donde:

V = volumen (mL) de H₂SO₄ empleado al titular lo destilado

N = normalidad del H₂SO₄

F = factor de relación peso del suelo alícuota tomada

Determinación de Ca²⁺ y Mg²⁺ intercambiables

Se mide la concentración de Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica a una longitud de onda de 422.7 y 285.2 nm, respectivamente, usando una flama de aire-acetileno.

Determinación de Na⁺ y K⁺ intercambiables

Se mide la concentración de Na⁺ y K⁺ por espectrofotometría de absorción atómica a una longitud de onda de 330.2 y 769.9 nm, respectivamente, usando una flama de aire-acetileno.

Ecuación general para calcular la concentración de cationes intercambiables del suelo de acuerdo con la norma NOM-021-SEMARNAT-2000

$$\frac{\text{cmol...de...cación...int ercambiable...}(+) \dots}{\text{kg ...de...suelo...sec o}} \dots = \dots \frac{(A - x) * B * C * D * E * F * G}{H} \quad (1)$$

Donde,

A, Concentración del catión en la muestra de extracción (mg/L)

B, Factor de dilución: Volumen de aforo (mL) / Alícuota de muestra del líquido extraído de la muestra de suelo (mL)

C, Volumen de aforo del suelo lavado con acetato de amonio (mL)

D, Factor de conversión de litros a mililitros (1/1000)

E, Factor de conversión de gramos a kilogramos (1000)

F, Conversión de mg a cmoles (1/10·PA del catión); PA, peso atómico del catión

G, Número de cargas del catión

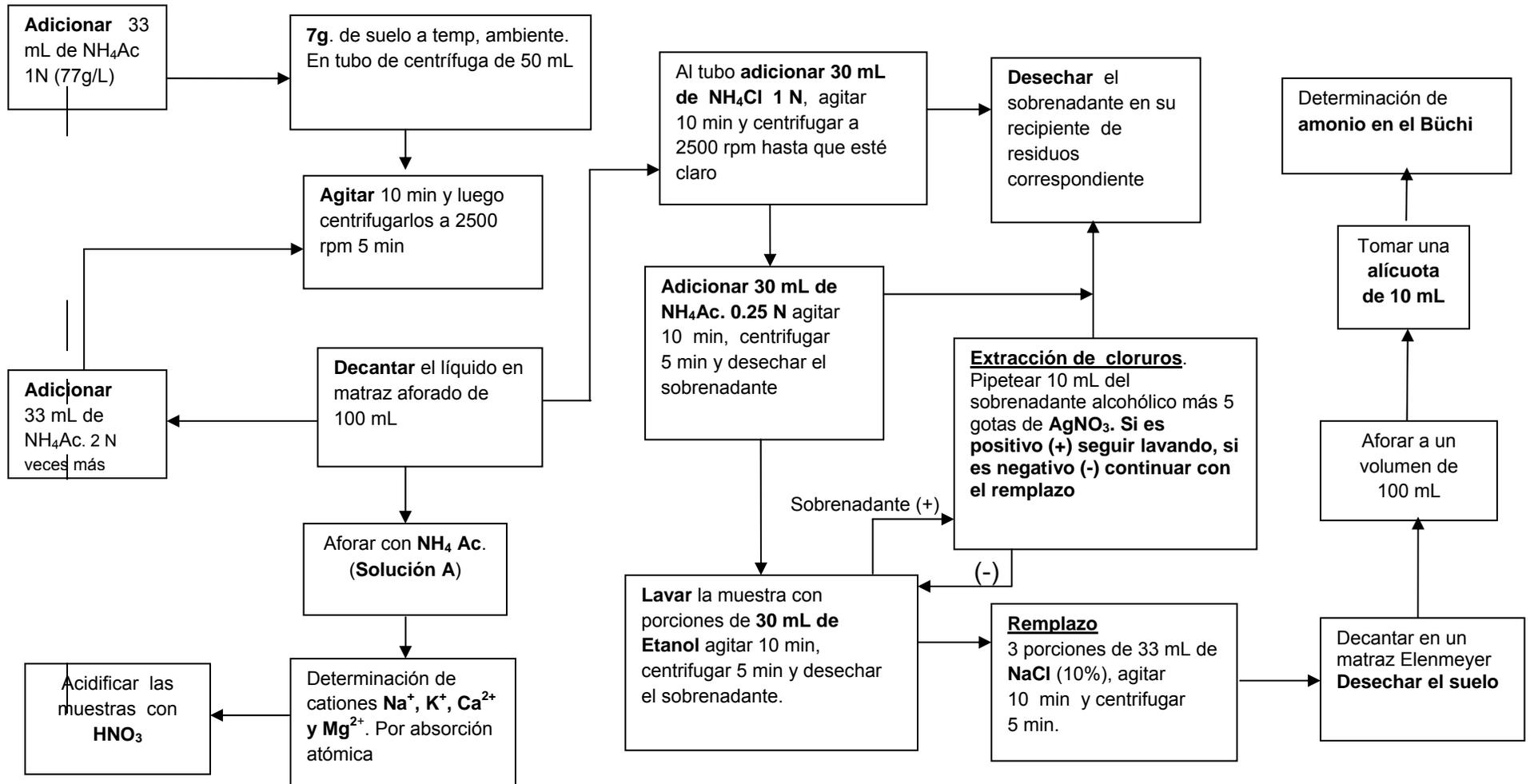
H, Peso de muestra de suelo utilizado para la lixiviación (g)

x, Concentración del catión en la muestra de referencia (blanco) (mg/L)

De la ecuación (1), se multiplica las variables por sus respectivos valores, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$= \dots \frac{(A-x) \left(\frac{mg}{L} \right) * B \left(\frac{10}{0.5} \right) * C(100ml) * D \left(\frac{1L}{1000ml} \right) * E \left(\frac{1000g}{1kg} \right) * F \left(\frac{cmol}{mg}; \frac{1}{10PA} delcatión \right) * G(\#)}{H(5g)} \quad (2)$$

Figura 3.7 Diagrama de flujo para determinar la CIC y bases intercambiables



4. Resultados y discusión

En este capítulo se presentan los resultados de los análisis de laboratorio realizados a las muestras de suelo antes y después de la experimentación y el análisis de la orina, para conocer las características físicas y químicas de ambos. Las determinaciones se hicieron por triplicado con lo cual se sustenta mejor el trabajo.

4.1 Caracterización inicial de suelos y orina

4.1.1 Suelos

a) Determinación granulométrica

Suelo ácido

De la muestra tomada de suelo de 1.5 kg, contiene 61.5 g de hojas y residuos orgánicos sin descomponer, los cuales pertenecen al mantillo, dentro del cual en su mayoría raíces con una presencia pobre de hojas y semillas. Es importante mencionar la cantidad de hojas, raíces, semillas, etcétera, presentes en los suelos, ya que estos al ser descompuestos forman la materia orgánica, y son los que van aportar nutrientes para el crecimiento de plantas.

La muestra de suelo, que es de 1438.5 g restando los 61.5 g, se pasó por diferente número de malla, la de número más pequeño, o sea la de trama más grande que se utilizó fue de 4 y la de más chica fue de 200, siendo esta última el tamaño más pequeño de partícula que puede distinguirse individualmente a simple vista, por lo que, el material que pasó esta trama se recolecto en charolas para darle un tratamiento que posteriormente se explica. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Granulometría del suelo ácido

Malla No.	Trama (mm)	Peso retenido de la muestra de 1438.5 g en (g) por la malla	Retenido %	Pasa %
4	4.75	5.3	0.36	99.64
10	2	5.5	0.38	99.26
20	0.84	10.9	0.76	98
40	0.42	7.3	0.51	97.99
60	0.25	6.3	0.43	97.56
80	0.18	9.9	0.68	96.88
100	0.15	12.8	0.90	95.98
200	0.074	27	1.88	94.1
total		85	5.9	94.1
Charola	<0.074	1353.6	94.1	0

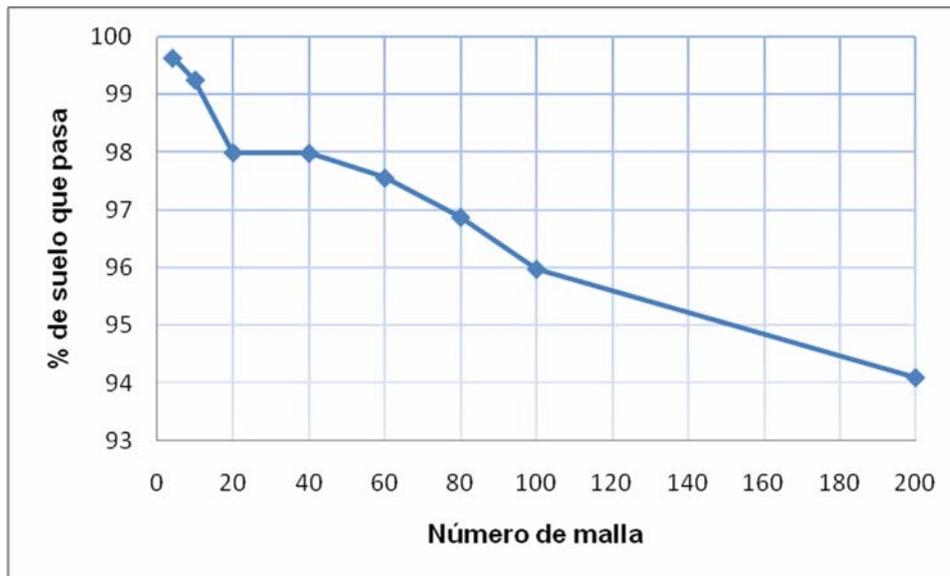


Figura 4.1. Gráfica de distribución del tamaño de partículas (Granulometría) del suelo ácido.

Como se observa en la tabla 4.1., y en la figura 4.1., la mayor parte de la muestra de suelo corresponde a granos finos, menores que 0.074 mm (94 %) de acuerdo a

lo que establece el IMTA (1990) para limos y arcillas. Se obtuvieron 1353.6 g de granos finos, lo que representa un 94.1% de 1.5 kg de muestra de suelo, los 146.4 g restantes, pertenecen a la suma de 85 g de peso retenido en las mallas y 61.5 g de mantillo.

La prueba indicó la ausencia de arenas y grava debido a que la granulometría del material analizado no fue retenido en las mallas correspondientes a ellas, pero sí una gran cantidad de arcilla, ya que los grumos que contuvo la muestra presentaron alta fuerza de cohesión y dureza; además el suelo presentó la característica de ser expansivo con alta plasticidad, típico y característico de las arcillas (IMTA, 1990), por lo cual es casi en su totalidad arcilla de color rojizo y con muchas raíces.

La presencia de limos en el suelo de estudio es escasa o nula porque al realizarse la prueba de deformabilidad (IMTA, 1990) obtuvimos una alta plasticidad, debido a la fuerte consistencia de la tripa de lodo, semejándose a una tripa hecha de plastilina con las mismas características, cohesión, adherencia, absorción de agua y retención de ésta, indicándonos la presencia de arcilla.

Suelo neutro

De la muestra tomada de suelo de 1.5 kg, ésta contiene muy poca cantidad de mantillo, sólo 10 g (0.66%), el cual estuvo compuesto principalmente de raíces y hojas.

Ese suelo fue más fácil de pasar por las mallas de la 4 a la 40 (el suelo que pasa es de alrededor de 99%) porque son de apertura grande debido a que no presenta grumos ni alta cantidad de raíces, que dificulte su separación, pero en las mallas más finas, como son de la número 60 a la 200, fue más difícil tamizarlo como se puede observar en la tabla 4.2., y en la figura 4.2.

Otro aspecto que se observó fue que al realizar el tratamiento de finos, éstos mostraron una baja sedimentación la cual hace sospechar la presencia de limos,

ya que al dejar la muestra en un periodo de reposo el material para que sedimentara, éste no lo hizo en su totalidad. Debido a que el tipo de material fino que presenta este suelo forma coloides, los cuales son muy difíciles de separar por lo cual el material no sedimenta en su totalidad. Para corroborar la presencia de limos, se realizó la prueba de identificación, la cual dio positivo al formarse el cinturón translucido de agua, pero como la muestra contiene coloides el cinturón no se observó 100% translucido.

Se obtuvieron 745.8 g de granos finos, lo que representa un 52.96% de 1.5 kg de muestra de suelo, los 91.8 g restantes, pertenecen a la suma de 10 g de material perteneciente al mantillo y 81.8 g de peso retenido en el coloide y a pérdidas por método. Las pruebas indicaron la ausencia de arenas y grava debido a que la granulometría del material analizado no fue retenido en las mallas correspondientes a ellas.

Tabla 4.2. Granulometría del suelo neutro

Malla No.	Trama (mm)	Peso retenido de la muestra de 1490 g en (g) por la malla	Retenido %	Pasa %
4	4.75	2.8	0.19	99.81
10	2	3.8	0.27	99.54
20	0.84	5.7	0.41	99.13
40	0.42	10.5	0.75	98.38
60	0.25	82.3	5.84	92.54
80	0.18	63.5	4.51	88.03
100	0.15	159.9	11.36	76.67
200	0.074	333.9	23.71	52.96
Charola	<0.074	745.8	52.96	0

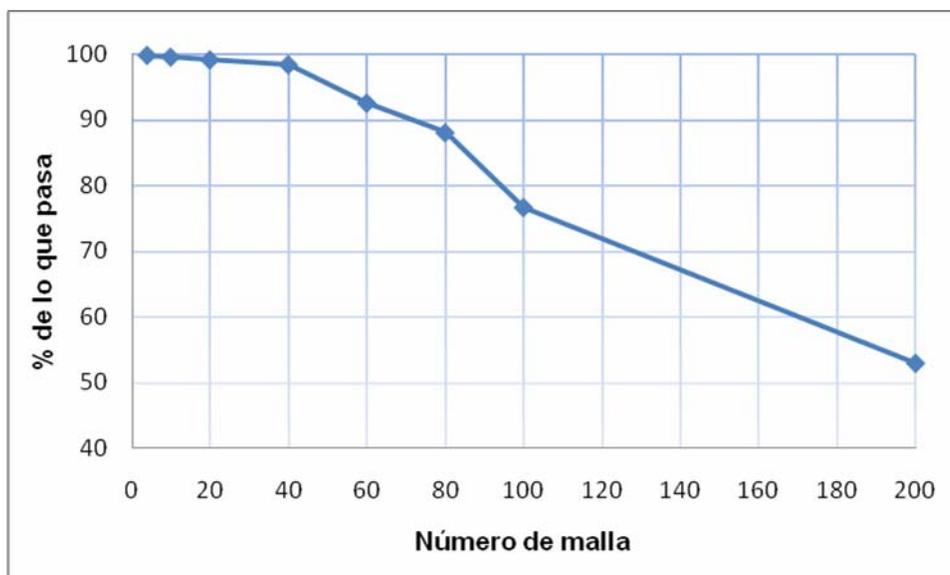


Figura 4.2. Gráfica de distribución del tamaño de partículas (Granulometría) del suelo neutro.

Como este suelo mostró presencia de limos, al realizarle la prueba cualitativa de deformidad (IMTA, 1990) obtuvimos una plasticidad media, debido a que la tripa de lodo es quebradiza y como los limos se definen como los finos no plásticos a diferencia de las arcillas, se confirma la presencia de ellos. Pero no tiene una alta presencia de éstos debido a que si tiene plasticidad, lo que indica que hay presencia de arcillas, esto se comprobó al tomar los grumos que presentaba la muestra y hacer presión con los dedos para romperlos para observar que el suelo mostraba cohesión, adherencia y absorción de agua. Por tanto la clasificación correspondiente a este suelo es el de una arcilla limosa de color café.

b) Resultados de Fluorescencia de rayos X (FRX), Difracción de rayos X (DRX), pH, conductividad, aniones, N-total, cationes intercambiables y CIC en los suelos

En las siguientes tablas se presentan los resultados del análisis de caracterización de las muestras de los dos suelos, ácido y neutro, antes del tratamiento con orina.

En la tabla 4.3., se muestran los resultados del análisis de FRX para los dos suelos.

El análisis se realizó con la muestra en base seca, y la pérdida por calcinación (PxC) se determinó calcinando 1 g de muestra a 950°C durante una hora.

Tabla 4.3. Resultados de FRX

	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	MgO	PxC	Suma
Suelo	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Ácido	29.55	37.29	0.22	0.48	1.85	0.23	14.06	0.16	0.39	0.61	15.20	100.03
Neutro	20.15	50.55	0.82	4.96	1.13	0.16	9.16	0.28	2.62	3.93	6.25	100.01

Los resultados obtenidos de DRX se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Resultados de DRX

Muestra	Minerales identificados	
	Especie mineral	Fórmula química
Ácido	Haloisita 7A	Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ .2H ₂ O
	Anortita	CaAl ₂ SiO ₂ O ₈
	Ferrihidrita	5Fe ₂ O ₃ .9H ₂ O
	Hematita	Fe ₂ O ₃
	Enstatita	Mg ₂ Si ₂ O ₆
Neutro	Cuarzo	SiO ₂
	Haloisita 7A	Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ .2H ₂ O
	Hematita	Fe ₂ O ₃
	Rutilo	TiO ₂
	Goethita	FeO(OH)
	Lizardita	Mg ₃ Si ₂ O ₅
	Caolinita	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄
	Albita	NaAlSi ₃ O ₈

En la tabla 4.5., se muestran los resultados obtenidos del análisis de identificación de los dos suelos para el pH y conductividad reportada a 25°C.

Tabla 4.5. pH, clasificación y conductividad a 25 °C

Suelo	pH	Clasificación	Conductividad (dS/m)
1	5.9	Suelo moderadamente Ácido	0.05
2	7.0	Suelo Neutro	0.095

La clasificación es acorde con lo establecido en la NOM-021RECNAT-2000, que se muestra en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Clasificación de suelos por su pH a 25°C de acuerdo a la NOM-021RECNAT-2000

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	<5
Moderadamente ácido	5.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Medianamente alcalino	7.4 – 8.5
Fuertemente alcalino	>8.5

Con esta clasificación se puede decir que los suelos estudiados tiene un pH adecuado para el desarrollo de cultivos vegetales.

En la tabla 4.7., y en la gráfica 4.3., y 4.4., se presentan los resultados obtenidos de los aniones y nitrógeno total en los dos suelos.

Tabla 4.7. Aniones y nitrógeno total

Suelo	Parámetro	Concentración (mg/kg)
Ácido	NO ₃ ⁻	1.93
Neutro	NO ₃ ⁻	1.27
Ácido	NO ₂ ⁻	0.06
Neutro	NO ₂ ⁻	0.06
Ácido	PO ₄ ³⁻	0.08
Neutro	PO ₄ ³⁻	0.19
Ácido	CO ₃ ²⁻	0
Neutro	CO ₃ ²⁻	0
Ácido	HCO ₃ ⁻	61
Neutro	HCO ₃ ⁻	61
Ácido	Cl ⁻	100.58
Neutro	Cl ⁻	88.75
Ácido	Nt	1558.2
Neutro	Nt	1411.2

Los límites detectables en el equipo utilizado para las determinaciones de NO₃⁻, NO₂⁻ y PO₄⁻, son los siguientes: Nitratos: 1.0-25.0 mg/L de N de NO₃⁻ (NO₃-N), Nitritos: 0.02-1.00 mg/L de N de NO₂⁻ (NO₂-N), Fosfatos: 0.05-5.00 mg/L de P de PO₄⁻ (PO₄-P). Para los casos de CO₃²⁻, HCO₃⁻, Cl⁻ y Nt. los límites detectables para estos parámetros no se encuentran reportados por el método en la bibliografía.

Esta caracterización inicial de aniones es esencial para conocer la condición en la que se encuentran los suelos y partir de un punto inicial para poder monitorear los cambios que ocurran en el suelo después de la aplicación de la orina.

A continuación se muestran las representaciones gráficas de los aniones y nitrógeno total en la figuras 4.3., y 4.4.

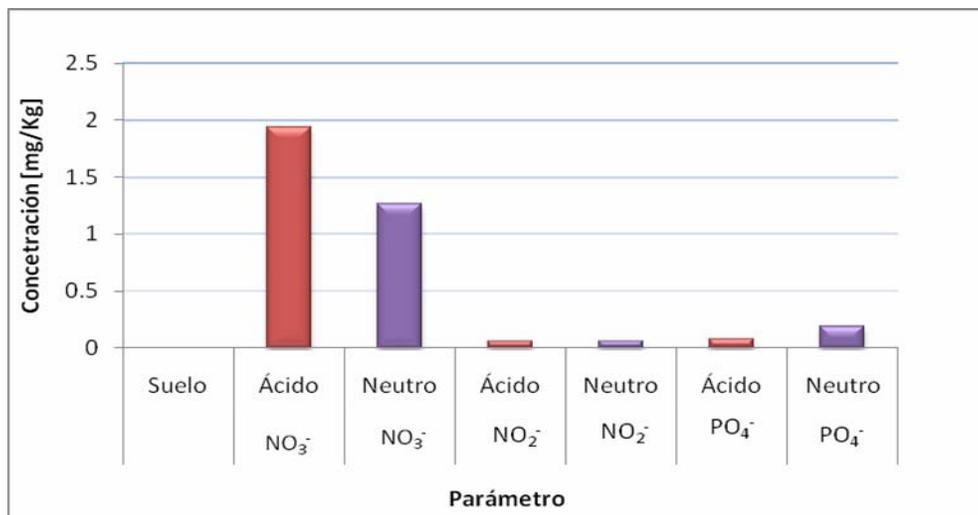


Figura 4.3. Gráfica de aniones presentes en el suelo antes del tratamiento [mg/kg]

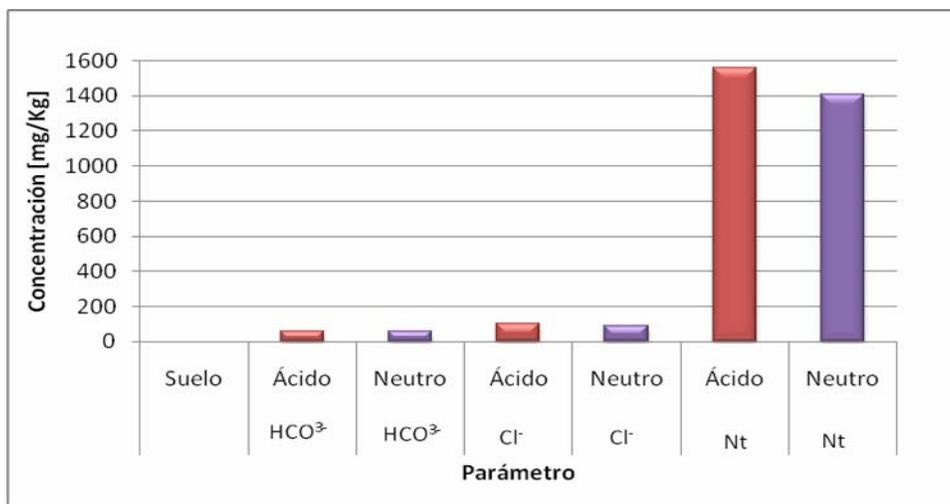


Figura 4.4. Gráfica de aniones presentes en el suelo antes del tratamiento [mg/kg]

Los resultados de caracterización para los cationes intercambiables se presentan en la tabla 4.8.

Tabla 4.8. Cationes intercambiables [$\text{cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$]*

Suelo	Na*	Mg*	K*	Ca*
Ácido	0.956	3.125	9.218	218.96
Neutro	0.582	28.536	1.631	119.86

Los niveles obtenidos para K, Mg y Ca en los resultados de cationes intercambiables indican, para los tres una concentración alta, según lo descrito en la tabla 4.9. No se reportan los datos de Na, ya que al sodio no es parte de los nutrimentos esenciales, más bien se le reporta como factor del índice de salinidad en suelos, pero si forma parte de los cationes intercambiables, como se discutirá en el análisis de resultados.

Tabla 4.9. Clasificación de los niveles de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de acuerdo a la CIC

Clase	Ca	Mg	K
	$\text{cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$		
Muy baja	Menor a 2	Menor a 0.5	Menor a 0.2
Baja	2 -5	0.5 – 1.3	0.2 – 0.3
Media	5 – 10	1.3 – 3	0.3 – 0.6
Alta	Mayor a 10	Mayor a 3	Mayor a 0.6

NOM-021RECNAT-2000

En la tabla 4.10., se muestran los resultados obtenidos de la CIC del suelo antes de la experimentación.

Tabla 4.10. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) [$\text{cmol}^{(+)}\text{kg}$]

Suelo	Suelo ácido	Suelo neutro
Inicial	48.8	42.3

Tabla 4.11. Valores de CIC del suelos de acuerdo a la NOM-021RECNAT-2000

Clase	CIC ($\text{cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$)
Muy alta	>40
Alta	25 – 40
Media	15 – 25
Baja	5 – 15
Muy baja	>5

Los resultados de CIC obtenida en la caracterización de los suelos indican que los suelos estudiados tienen una muy alta CIC (Ver la tabla 4.11). Tomando en cuenta que la determinación de la CIC es parte del índice de fertilidad del suelo, se puede decir que los suelos presentan una buena fertilidad, lo cual los clasifica como suelos buenos para la agricultura.

4.1.2 Orina

A continuación se presentan los resultados del análisis de caracterización de la muestra de orina, cuyos parámetros se determinaron por triplicado.

En la tabla 4.12., se muestran los resultados obtenidos de caracterización de las muestras de orina (MO) para el caso de pH, conductividad a 25°C, aniones y nitrógeno total. Estos resultados se observan gráficamente en las figuras 4.5., y 4.6., de igual forma, se muestra en la tabla 4.13., la concentración de metales presentes en la orina y en la figura 4.7., se muestra su gráfico.

Tabla 4.12. pH, conductividad, aniones y nitrógeno total

Parámetro	
pH a 25 °C	9.4
Conductividad (dS/m) a 25°C	41.23
Concentración (mg/L)	
NO ₃ ⁻	8.8
NO ₂ ⁻	0.63
PO ₄ ⁻	1.59
Cl ⁻	5657.82
NH ₃	5534.67
Nt	6379.80

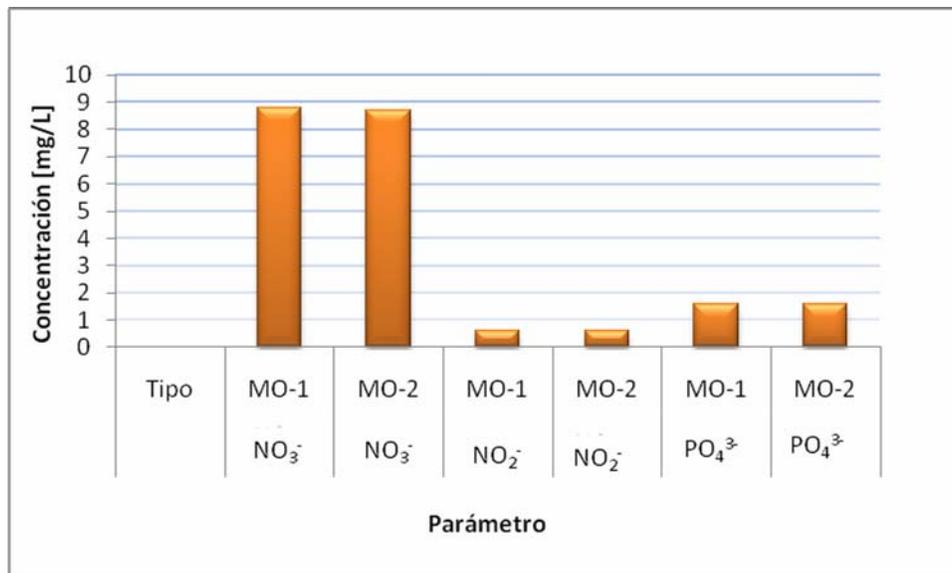


Figura 4.5. Gráfica de aniones presentes en la orina (Caracterización) [mg/L]

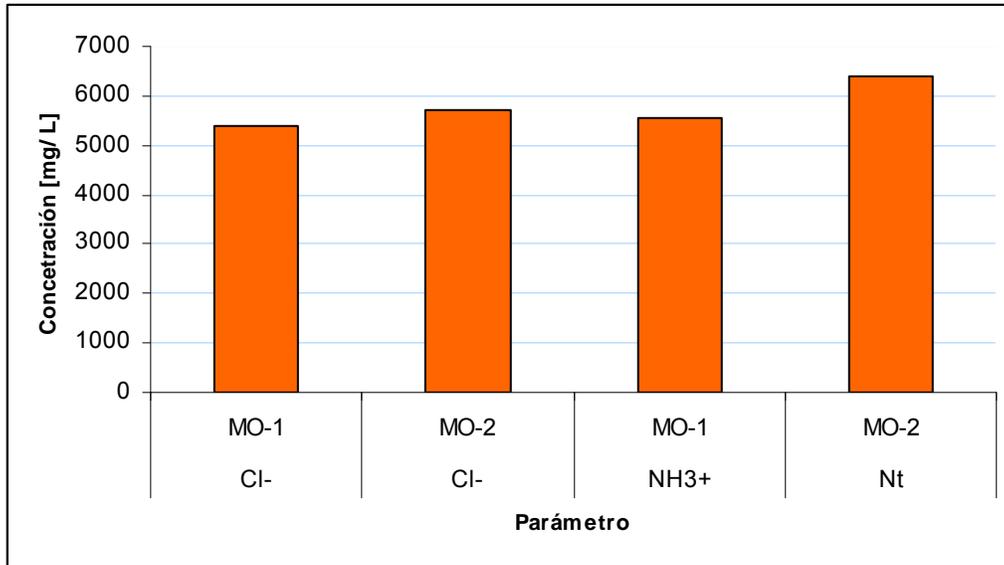


Figura 4.6. Gráfica de aniones presentes en la orina (Caracterización) [mg/L]

Tabla 4.13. Concentración de Metales en orina [mg/L]*

	Na*	Mg*	K*	Ca*
Orina	2423.5	0	1793.33	33.89

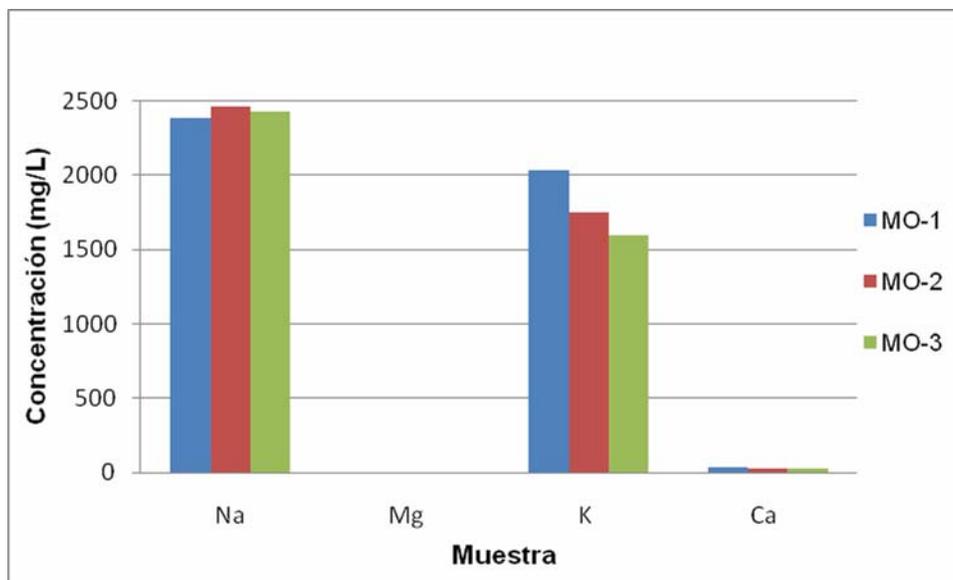


Figura 4.7. Gráfica de los metales presentes en la orina [mg/L] (Caracterización). MO = Muestra Orina

Los valores de metales obtenidos en la orina muestran una muy escasa concentración de Ca y una nula concentración de Mg, esto puede ser debido a que como la orina se almacenó por un periodo de 5 meses, los nutrientes, como lo son el Ca y el Mg, hayan formado complejos insolubles con el fósforo y se encuentren precipitados en los sedimentos de la orina. Por otro lado se observa una gran concentración de Na y K, lo cual coincide con la bibliografía en la cuál indica que la orina contiene grandes cantidades de Na y K y que estas son debidas al tipo ingesta y la dieta de la persona.

4.2 Resultados de las pruebas experimentales después de la aplicación de la orina en las columnas de suelo

Aquí se presentan los resultados obtenidos después de la aplicación de la orina en el suelo.

Posterior a la aplicación de la orina en 300 g de suelo con dosis de 150 y 250 mg de Nt y dejando pasar 20 días de tratamiento, las muestras se encontraron como se muestra en la figura 4.8., las columnas se desmontaron, se homogeneizaron y se separó la cantidad necesaria para el análisis; los resultados se presentan a continuación.



Suelo ácido



Suelo neutro

Figura 4.8. Fotos de las columnas en el soporte después del periodo de experimentación

4.2.1 pH y conductividad

En la tabla 4.14., se muestran los resultados obtenidos del valor de pH (figura 4.9.) y conductividad (figura 4.10.) reportada a 25°C, después del periodo de experimentación de 20 días, donde se observa un cambio evidente de pH, que se representan en la figura 4.9.

Tabla. 4.14. pH y conductividad (dS/m) a 25°C

Suelo	Tipo	pH a 25°C	Conductividad a 25°C (dS/m)
Ácido	Inicial	5.9 ±0.12*	0.05 ±0.0**
Ácido	Blanco	6.2 ±0.13*	0.16 ±0.19**
Ácido	Dosis 1	6.8 ±0.20*	0.52 ±0.07**
Ácido	Dosis 2	8.0 ±0.11*	0.54 ±0.04**
Neutro	Inicial	7.0 ±0.06*	0.10 ±0.05**
Neutro	Blanco	7.2 ±0.12*	0.12 ±0.02**
Neutro	Dosis 1	7.9 ±0.08*	0.86 ±0.05**
Neutro	Dosis 2	7.9 ±0.19*	0.75 ±0.06**

*En la suspensión suelo: agua. En la relación 1:3. (Mnkeni et al., 2004)

**En el extracto de suelo con agua. En la relación 1:4

Nota los parámetros se realizaron por triplicado

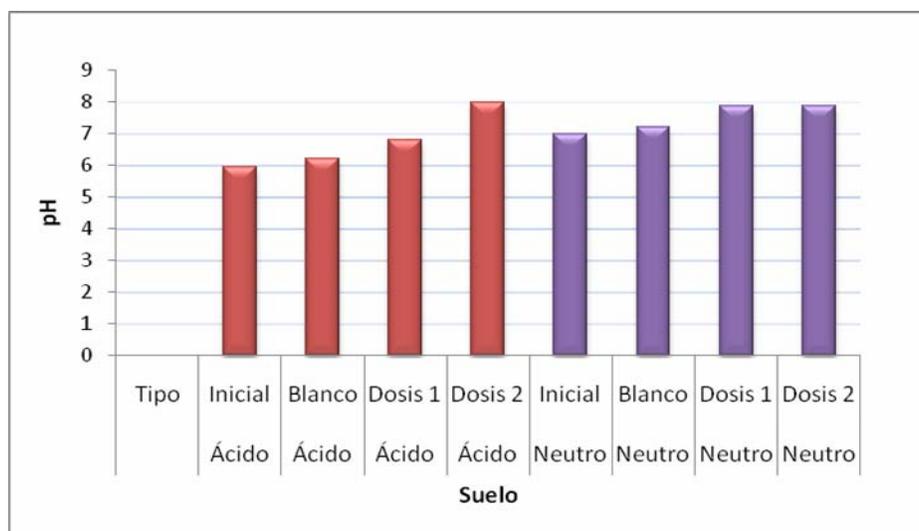


Figura 4.9. Gráfica comparativa de pH en las muestras de suelo a 25°C

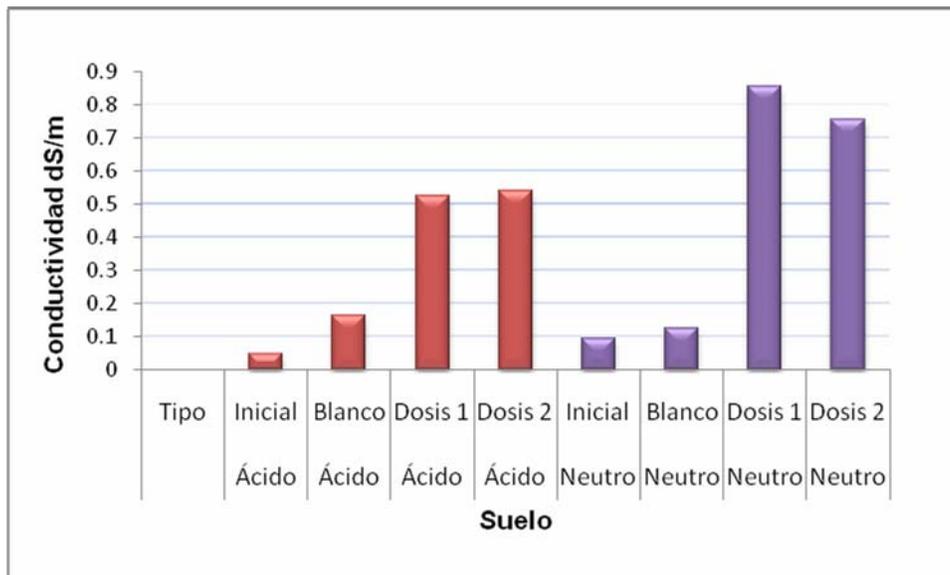


Figura 4.10. Gráfica comparativa de conductividad dS/m en las muestras de suelo a 25°C

4.2.2 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Con respecto a la CIC después de las pruebas, en la tabla 4.15., se resumen los resultados obtenidos para esta determinación.

Tabla. 4.15. Capacidad de intercambio catiónico CIC (cmol⁽⁺⁾/kg)

Tratamiento (días)	Suelo	Ácido	Neutro
1	Inicial	48.4 ±0.48	42.3 ±0.43
20	Blanco	46.2 ±11.88	24.4 ±16.63
20	Dosis 1	42 ±2.22	26.6 ±1.75
20	Dosis 2	41.7 ±2.95	35.6 ±0.48

Los resultados indican que después del periodo de experimentación el suelo ácido presenta una CIC más alta que el suelo neutro, pero ambos suelos presentan una

menor CIC que la que muestran inicialmente antes del estudio, como se muestra en la figura 4.11. Tomando en cuenta que la determinación de la CIC es parte del índice de fertilidad del suelo se podría decir que el suelo ácido podría presentar una fertilidad mayor que el suelo neutro (ver tabla 4.10.), a sabiendas de hacer todas las demás determinaciones para poder analizar con certeza estos resultados.

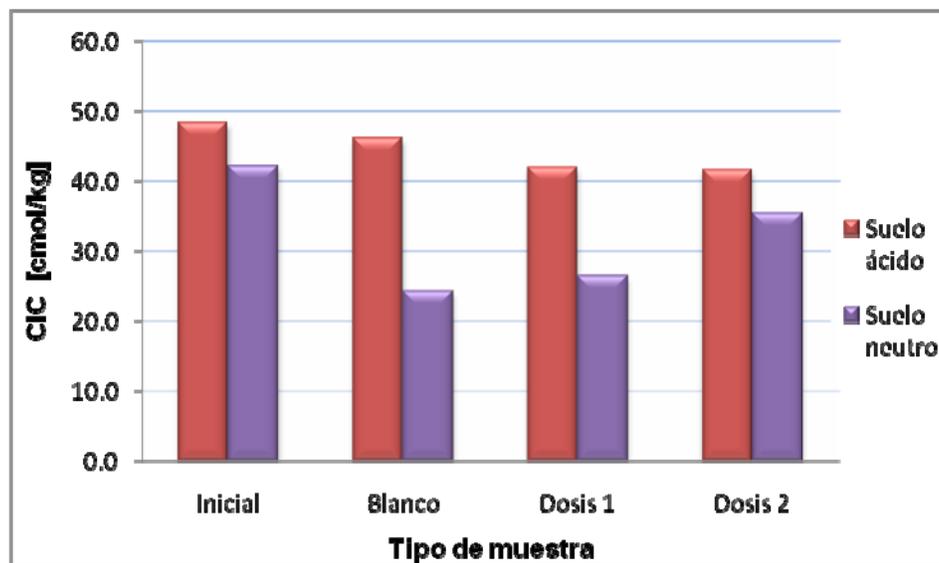


Figura 4.11. Gráfica comparativa de CIC en las muestras de suelo después de tratamiento [cmol⁽⁺⁾/kg]

Los resultados obtenidos después del tratamiento para los cationes intercambiables se muestran en la tabla 4.14., y de forma gráfica en las figuras 4.12., 4.13., y 4.14., respectivamente.

4.2.3 Cationes Intercambiables

A continuación se presentan en la tabla 4.16., los resultados obtenidos después del tratamiento para los Cationes Intercambiables y su comparativa. También se presenta de forma gráfica los resultados en la figura 4.12.

Tabla 4.16. comparativa de cationes intercambiables presentes en el suelo después del tratamiento [$\text{cmol}^{(+)}/\text{kg}$]

Tipo	inicio		Blanco		Dosis 1		Dosis 2	
Suelo	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro
Na*	0.96±0.1	0.6±0.1	0.7±0.3	2.0±0.1	7.6±3.7	11.9±1.1	13.4±1.1	18.9±0.7
K*	9.2±0.3	1.6±0.0	8.4±0.0	6.5±0.1	9.0±0.8	9.0±0.4	10.1±0.5	10.1±0.1
Mg*	3.1±0.0	28.5±0.6	33.4±42.3	150±11.5	62.8±7.6	131±7.5	54.7±10.2	146.7±3.5
Ca*	221±40.9	120±43.6	171.2±11	252.2±11	196±35.8	227.7±23.5	152.2±30.2	242.1±10.3

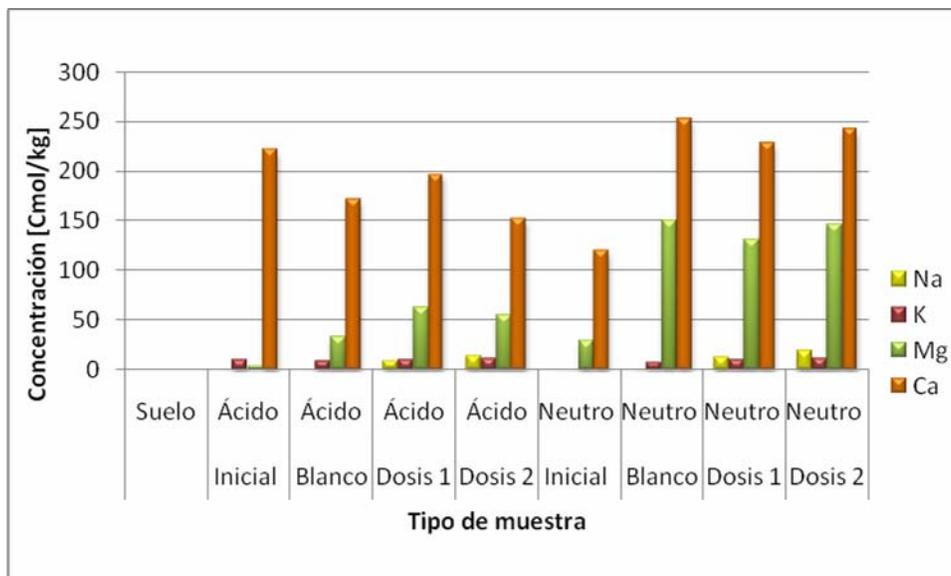


Figura 4.12. Gráfica comparativa de Cationes Intercambiables presentes en el suelo después del tratamiento [$\text{cmol}^{(+)}/\text{kg}$]

En las siguientes figuras se hace un acercamiento para que se observe mejor el comportamiento de los cationes Na-K, Ca-Mg.

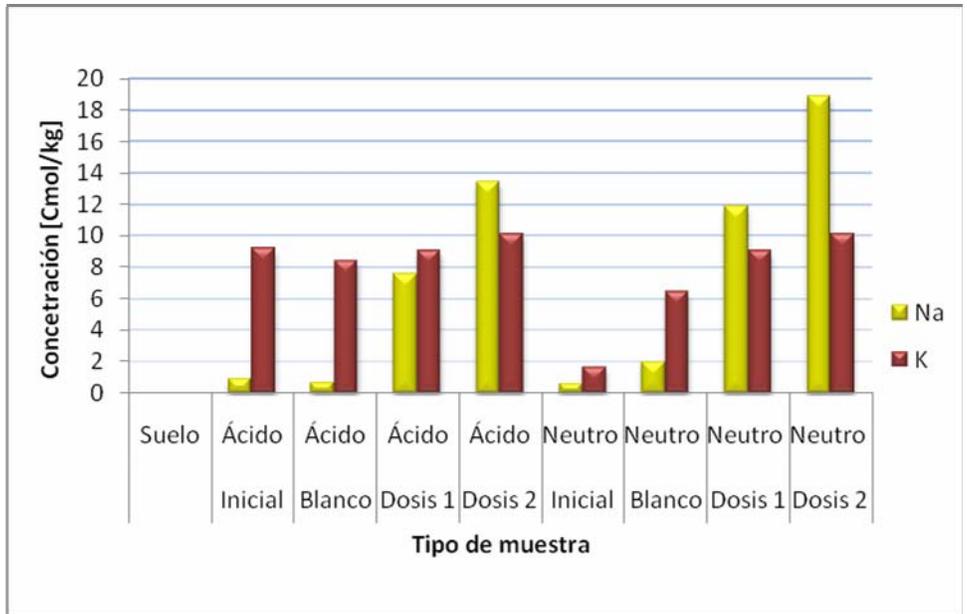


Figura 4.13. Gráfica comparativa de Cationes Intercambiables (Na y K) presentes en el suelo después del tratamiento [cmol⁽⁺⁾/kg]

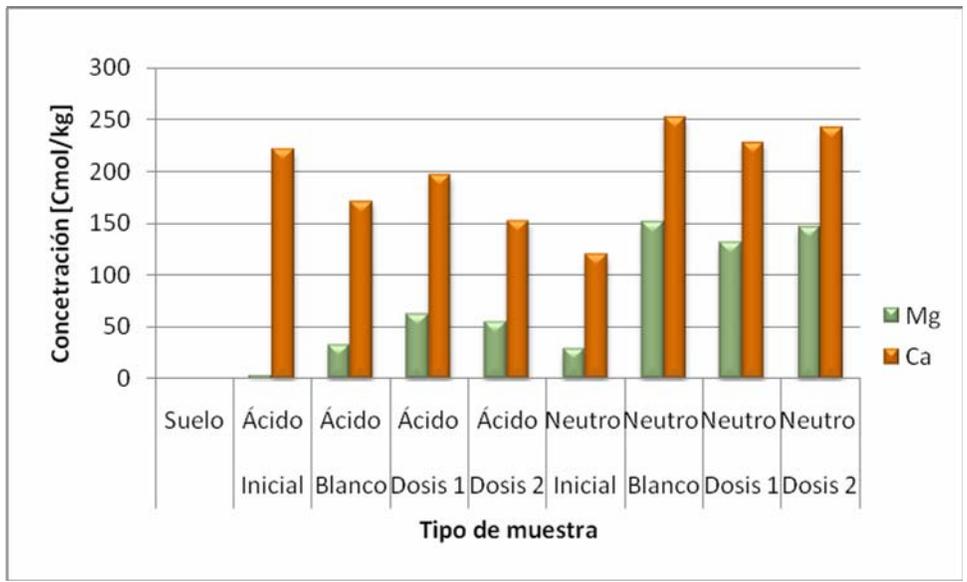


Figura 4.14. Gráfica comparativa de Cationes Intercambiables (Mg y Ca) presentes en el suelo después del tratamiento [cmol⁽⁺⁾/kg]

4.2.4 Nitrógeno total (Nt.) y aniones

Los resultados obtenidos después de las pruebas se muestran en la tabla 4.17. En el caso de Nt. las muestras para su análisis se extraen directamente del suelo, mientras que para los aniones las muestras se extraen del lixiviado de suelo.

Tabla 4.17. Comparativa de aniones y Nt. presentes en el suelo después del tratamiento [mg/kg]*

Aniones	Nt		NO ₃ ⁻		NO ₂ ⁻		PO ₄ ⁻		CO ₃ ²⁻		HCO ₃ ⁻		Cl ⁻	
	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro
Suelo														
Inicial*	1558.2	1411.2	1.93	1.27	0.06	0.06	0.08	0.19	0	0	61.0	61.0	100.58	88.75
Blanco*	1543.5	1440.6	1.58	1.48	0.13	0.11	0.25	0.46	0	0	61.0	61.0	79.88	97.6
Dosis 1*	1960	1783.6	2.03	4.03	0.1	0.28	0.21	1.57	0	0	61.0	81.33	118.33	171.58
Dosis 2*	2283.4	2283.4	1.47	4.5	0.12	< 0.01	0.33	0.78	0	0	61.0	81.33	171.58	201.7

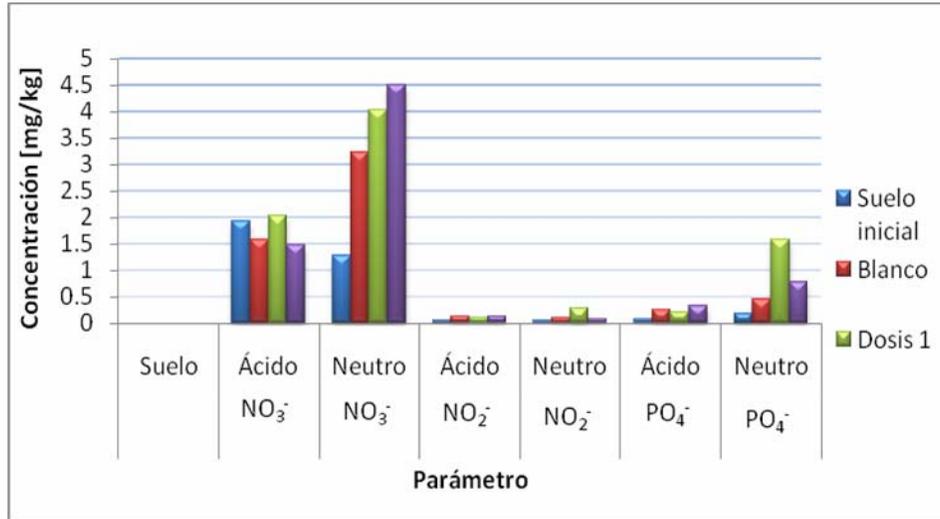


Figura 4.15. Gráfica comparativa de aniones presentes en el suelo después del tratamiento [mg/kg]

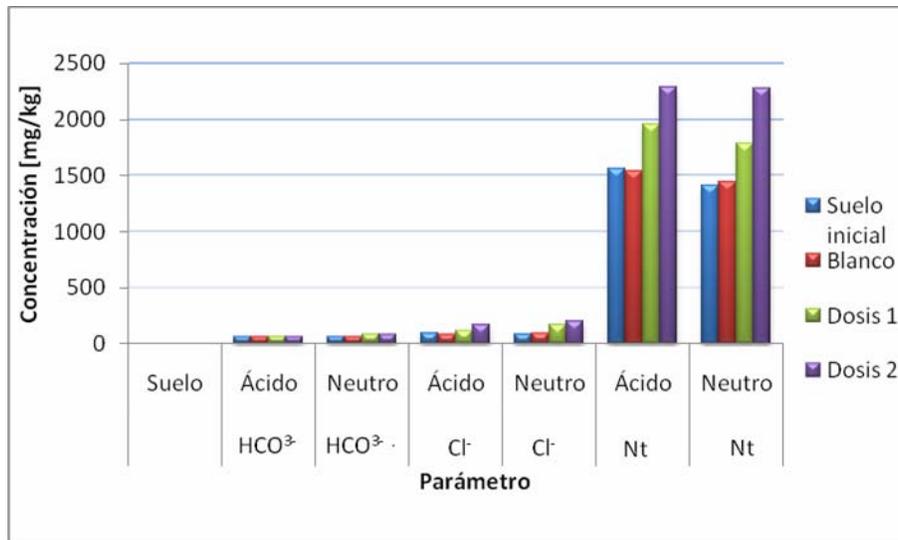


Figura 4.16. Gráfica comparativa de aniones presentes y Nt en el suelo después del tratamiento [mg/kg]

4.2.5 Cationes solubles

Los resultados que se presentan en la tabla 4.18., es la comparativa entre los Cationes solubles contra sus dosis. De forma gráfica se observa en la figura 4.17.

Tabla 4.18. Comparativa de los Cationes solubles presentes en el suelo después del tratamiento [$\text{cmol}^{(+)}/\text{kg}$]*

Tipo	Blanco		Dosis 1		Dosis 2	
	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro
Na*	3.8 ±3.8	7.9 ±5.5	30 ±0.3	35.3 ±16.8	35.6 ±3.1	46.2 ±2.2
K*	2.4 ±1.5	3.6 ±0.44	8.3 ±0.2	10.3 ±0.6	9.2 ±0.5	10.6 ±0.7
Mg*	8.0 ±9.0	19.3 ±3.6	15.0 ±7.9	31.5 ±1.3	6.2 ±1.3	16.6 ±3.4
Ca*	15.8 ±11.2	6.8±5.6	23.3±13.6	11± 7.7	18.5 ±10.1	13.5 ±5.7

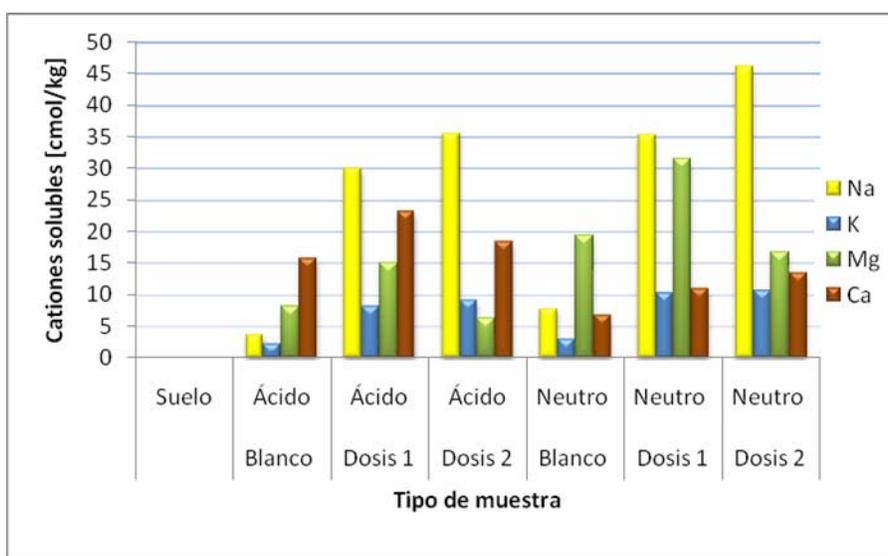


Figura 4.17. Gráfica comparativa de los Cationes solubles presentes en el suelo después del tratamiento [$\text{cmol}^{(+)}/\text{kg}$]

4.3 Análisis de resultados

Con base en los resultados obtenidos, los suelos ácido y neutro, muestran cambios en sus características.

A continuación se hace el análisis de los resultados por parámetro analizado en la experimentación (pH, conductividad, CIC, iones intercambiables y lixiviables).

4.3.1 pH

Con los resultados obtenidos de pH se realizó la siguiente tabla comparativa.

Tabla 4.19. Análisis de pH

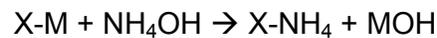
Suelo	Tipo	pH a 25°C
Ácido	Inicial	5.9 ±0.12*
	Blanco	6.2 ±0.13*
	Dosis 1	6.8 ±0.20*
	Dosis 2	8.0 ±0.11*
Neutro	Inicial	7.0 ±0.06*
	Blanco	7.2 ±0.12*
	Dosis 1	7.9 ±0.08*
	Dosis 2	7.9 ±0.19*

Como se puede observar en la tabla 4.19., en ambos suelos el pH aumentó casi en una unidad por dosis, a excepción del suelo neutro que en ambas dosis reportó el mismo pH.

El aumento de pH se debe a diversos factores, como son: la orina aplicada al suelo, que al tener un pH de 9.4 debido a la hidrólisis de la urea y al tiempo de almacenamiento, ésta modifica el pH del suelo. También debido a la acidez o alcalinidad del suelo que depende del equilibrio entre micelas cargadas negativamente y iones positivamente, sobre todo Na^+ , K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} . Que éstos al estar en mayor cantidad que las negativas provoca que existan suficientes iones OH^- para alcalinizar el sistema formando bases y aumentando el pH en el suelo. También se encuentra reportado por Cepeda, 1991, que los suelos con pH mayor a 8 poseen un exceso de sales o elevado porcentaje de sodio en los sitios de intercambio catiónico.

En el proceso de exposición del suelo con orina, durante el periodo de experimentación, ocurrieron reacciones diversas como la de la hidrólisis de la urea por la enzima ureasa pero, en particular, se llevan a cabo reacciones de intercambio de iones, ácido-base y precipitación, razón por la cual el pH del suelo cambia significativamente al dosificar orina con respecto al dosificado sólo con agua destilada. A continuación se representan algunas reacciones directamente relacionadas con el comportamiento del suelo durante las pruebas:

Reacciones de intercambio iónico:

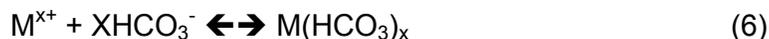


Donde,

X, Matriz del suelo (arcilla)

M, Metal (Na, K, Ca y Mg)

Reacciones ácido-base:



Al llevarse a cabo las reacciones 4 y 5 con respecto al pH y las K_{ds} , en función del balance de carbonatos, resulta el diagrama de la figura 4.18., en el cual se puede confirmar que la alcalinidad para el pH de la orina corresponde principalmente a los bicarbonatos.

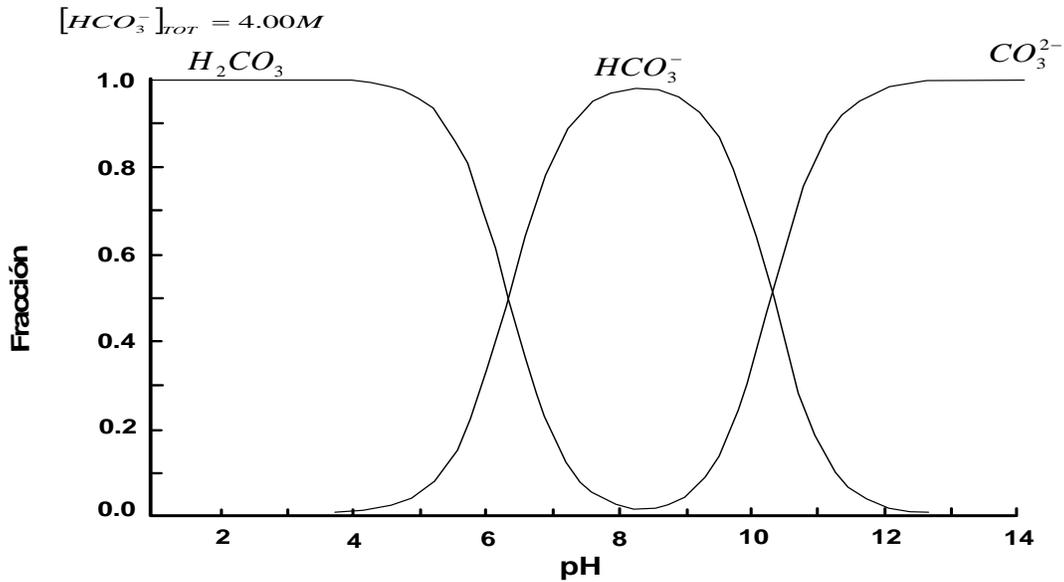


Figura 4.18. Diagrama de equilibrio de carbonatos en medio acuoso

Reacciones de precipitación:



Así también, la modificación de pH puede relacionarse al efecto de la influencia del tiempo que tarda el suelo en amortiguar la dosis de la solución de orina aplicada. Para entender mejor el comportamiento de la orina en el suelo se muestra en la figura 4.19., el diagrama de Sillen para el equilibrio en medio acuoso de una base débil monoprotónica ($NH_4^+ - NH_3$) a una concentración dada, así se puede justificar que la variación del pH puede estar influenciada por el tiempo que tarda el suelo en amortiguar la dosificación de orina, y poder evaluar realmente si existe una modificación del pH o sólo es un efecto de un equilibrio para compensar la agregación de la solución de orina.

En dicha figura se observa que el equilibrio de las formas químicas se logran precisamente al pKa de 9.25 que corresponde al pH de la orina utilizada y donde las concentraciones son iguales.

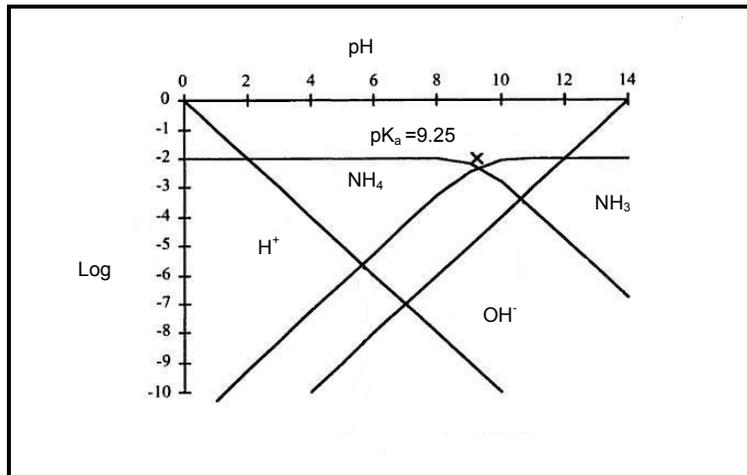


Figura 4.19. Diagrama de Sillén para 0.01 M de NH₃ o 0.01 M de NH₄Cl (pK_a = 9.25, log C = -2), modificado de Butler et al., 1998

4.3.2 Conductividad

Para analizar los resultados de conductividad se realizó la siguiente tabla

Tabla 4.20. Análisis de conductividad

Suelo	Tipo	Conductividad a 25°C (dS/m)
Ácido	Inicial	0.05 ±0.0**
	Blanco	0.16 ±0.19**
	Dosis 1	0.52 ±0.07**
	Dosis 2	0.54 ±0.04**
Neutro	Inicial	0.10 ±0.05**
	Blanco	0.12 ±0.02**
	Dosis 1	0.86 ±0.05**
	Dosis 2	0.75 ±0.06**

Como se puede observar en la tabla 4.20., el aumento en la conductividad en los suelos es debido a la aplicación de la dosis de orina, como se ve al comparar, en la tabla, las muestras iniciales con las dosificadas, además

también se puede observar que el suelo neutro presenta mayor conductividad que el suelo ácido y entre dosis 1 y 2 no existió una diferencia significativa como se esperaba, para ambos suelos, lo cual es posible atribuir a que suceden procesos de adsorción, intercambio o precipitación de los iones disueltos.

Existe diferencia entre las muestras iniciales y los blancos, esto se debe a que la repetibilidad en suelos es muy difícil, debido a la heterogeneidad de los suelos, cabe mencionar que esta diferencia es pequeña y que puede estar influenciada por el periodo de experimentación de 20 días de contacto suelo con agua, dando mayor posibilidad de disolver sales al agua.

Al igual que el pH, la conductividad del suelo es afectada por la orina. Esto se debe a que la orina contiene una gran cantidad de sales disueltas y al disociarse generan iones tanto positivos como negativos aumentando la conductividad de los dos suelos. Esto se relaciona con dos procesos uno químico, el de cambio iónico en el cual existe un intercambio de un ión por otro sobre la superficie de un sólido, aumentando la conductividad o disminuyéndola al formar precipitados insolubles debido a la competencia entre los iones presentes en el suelo y los de la orina. El otro proceso es físico el de adsorción, que se da cuando el suelo retiene agua, ésta disuelve las sales del suelo formando soluciones de sales ricas en nutrientes que las plantas puedan aprovechar para su crecimiento.

4.3.3 Capacidad de intercambio catiónico

Con base en los resultados obtenidos, se dice que la determinación de la CIC, que es parte del índice de fertilidad del suelo, en los suelos estudiados presentan una muy alta CIC ya que es del orden de 40 cmol/kg, por lo cual los clasifica como suelos fértiles, buenos para la agricultura, según la NOM-021RECNAT-2000.

La CIC en los suelos dosificados presentan una disminución marcada, como se puede ver en la tabla 4.21., la cual llama la atención debido a que esto no se

esperaba. A continuación se discuten las razones por las cuales se están viendo afectados los valores de este parámetro.

Tabla 4.21. Análisis de la CIC

Tratamiento (días)	Suelo	Ácido		Neutro	
		pH	CIC [cmol(+)/kg]	pH	CIC [cmol(+)/kg]
1	Inicial	5.9	48.4 ±0.48	7.0	42.3 ±0.43
20	Blanco	6.2	46.2 ±11.88	7.2	24.4 ±16.63
20	Dosis 1	6.8	42 ±2.22	7.9	26.6 ±1.75
20	Dosis 2	8.0	41.7 ±2.95	7.9	35.6 ±0.48

De manera general, el suelo ácido resulta tener una mayor CIC que el neutro en todas las pruebas, esto podría deberse a que el suelo ácido al ser expansivo y tener más arcilla, y que éstas al tener un área superficial de intercambio más grande, retiene mayor cantidad de agua para el intercambio que el suelo neutro, haciendo que el suelo ácido tenga un área mayor para que se lleve a cabo el intercambio catiónico. El suelo ácido es el que presenta un comportamiento homogéneo en la dosificación de orina, a pesar de que en éste se observan variantes como consecuencia de la etapa analítica.

Con el apoyo de los análisis de DRX y FRX se comprueba que los suelos agrícolas estudiados contienen arcillas. La fracción arcillosa de éstos esta dominada por el mineral kaolinita, es un mineral de silicato laminar y es el más común, tiene una baja CIC, entre 3 a 15 cmol/kg y la haloisita, que es una forma de la kaolinita en la que se retiene agua en el interior de su estructura y su CIC es mucho más alta que la primera, entre 20 a 50 cmol/kg. La CIC de este mineral depende en gran medida del pH, por lo que la sustitución isomórfica no es utilizada en este caso. Debido a lo anterior la CIC se ve disminuida en las muestras de suelo dosificadas con orina por el aumento de pH, por tanto, los cationes intercambiables tienden a ser menos asimilables al aumentar éste. El margen de pH para que exista un máximo aprovechamiento de estos nutrientes es entre 6 y 7 para la mayoría de suelos agrícolas.

Estos suelos estudiados contienen alófono, que es el término dado a los geles de aluminosilicato amorfos y estos incluyen principalmente a los óxidos de silicio, hierro y aluminio. Los cuales, según Bohn et al., 1993, se depositan sobre las superficies de las arcillas afectando sus características, provocando que disminuya la CIC y disminuyendo el área de superficie de las arcillas, restringiendo la expansión y contracción de éstas.

Conjuntando los resultados de pH con los de CIC, ésta puede estar siendo afectada por las variaciones en el pH, esto es más evidente en el caso del suelo neutro que en el suelo ácido, porque a pesar de que el pH del suelo ácido fue incrementado con la dosis de orina, la CIC se mantuvo prácticamente igual. Esto puede ser debido a que el suelo neutro es afectado por las propiedades del mismo, su granulometría, plasticidad, cohesión, capacidad de campo y la presencia de coloides, ya que estas propiedades le dan al suelo sus características particulares en la CIC.

No hay una explicación conforme a la bibliografía de la disminución de la CIC del suelo neutro con el tratamiento con agua, lo que es posible atribuir a la dispersión del mismo y a posibles diferencias durante la experimentación y análisis de los parámetros involucrados.

Por tanto, el cambio de CIC es debido al incremento en el pH, a la presencia de óxidos en el suelo y a las características de estas arcillas que no son simples ni uniformes y, como la superficie de intercambio es reducida por la presencia de la materia orgánica y óxidos, los cationes no pueden intercambiarse ni ser retenidos en el suelo, por lo que se pierden por lixiviación, ocasionando que la CIC se vea disminuida.

4.3.4 Cationes intercambiables

De acuerdo a los resultados obtenidos, el catión más intercambiable es el calcio (ver tabla 4.16), esto era de esperarse ya que el calcio es el catión más fuertemente adsorbido de estos cuatro cationes en la distribución de los cationes intercambiables en los suelos agrícolas productivos. Esto se observa en el orden relativo, reportado por Ortiz y Ortiz, 1990, de las bases

intercambiables en la serie liotrópica $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$, por tanto ocupa la mayoría de los espacios de intercambio. Éste catión es intercambiado en la superficie de los coloides y puede llegar a ocupar el 70% o un poco más de los lugares de intercambio.

El Ca^{2+} intercambiable para el suelo ácido y neutro, tanto para los testigos como para las muestras se observa en la tabla 4.22.

Tabla 4.22. Comparativa con el catión Calcio

Tipo	Inicial		Blanco		Dosis 1		Dosis 2	
Suelo	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro
Ca [cmol ⁽⁺⁾ /kg]	221	120	171.2	252.2	196.2	227.7	152.2	242.1

Éstos indican que la disminución en el caso del suelo ácido, puede deberse a que el Mg^{2+} intercambiable entra en competencia con el Ca^{2+} intercambiable, ocupando así el Mg^{2+} lugares que antes no ocupaba, esto se justifica con el aumento en la concentración de Mg^{2+} . En el suelo neutro es justamente al revés, conforme aumenta el Ca^{2+} intercambiable y su concentración, también aumenta la del Mg^{2+} por igual.

La alta cantidad de calcio intercambiable presente en las muestras, es debido a que los suelos estudiados son suelos agrícolas productivos, por lo cual son ricos en calcio intercambiable. El alto contenido de éste, indica un pH casi neutro, deseable para la mayoría de los vegetales y microorganismos. El Ca^{2+} es un ión nutriente esencial y sólo en raras ocasiones los suelos tienen deficiencia de él (Bohn et al., 1993).

En segundo lugar se encuentra sujeto a intercambio catiónico el Mg^{2+} , está presente en la solución del suelo y se absorbe con menos fuerza a las partículas que el calcio, por lo que se puede perder por lixiviación (Bohn et al., 1993).

El magnesio forma parte de los nutrimentos secundarios en la solución del suelo, en el complejo de cambio se encuentra como ión Mg^{2+} y de esta forma es absorbido por las plantas como lo reportan Brady 1990, Hernández 2001, y SSC 2002.

Los valores determinados para el suelo ácido y neutro, tanto para los testigos como para las muestras se observa en la tabla 4.23.

Tabla 4.23. Comparativa con el catión Magnesio

Tipo	Inicial		Blanco		Dosis 1		Dosis 2	
Suelo	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro
Mg [cmol ⁽⁺⁾ /kg]	3.1	28.5	33.4	150.4	62.8	131.1	54.7	146.7

Los resultados indican que hay una gran concentración de Mg^{2+} presente en el suelo y que este aumenta al dosificarlo con orina, por lo que tiene una buena disponibilidad a pH 7, y que un valor mayor a éste decrece su disponibilidad, como se muestra en las dosis 1 y 2 para el caso de suelo neutro. Cabe mencionar que aunque se tenga una gran concentración de magnesio, no quiere decir que todo esté disponible para ser utilizado por las plantas. Para el caso del suelo ácido el Mg^{2+} se comporta de forma diferente, ya que en lugar de disminuir al aplicar las dosis de orina aumenta, esto puede justificarse debido a que el pH aumenta a 7 y el Mg^{2+} está más disponible para el caso de la dosis 1, pero para ambas dosis 1 y 2 el efecto de aumento se puede fundamentar en lo reportado por Fassbender y Bornemisza, 1987, donde dice que la disponibilidad de Mg^{2+} en un suelo depende no solamente de la cantidad total presente, sino de la cantidad en relación a la capacidad de intercambio de los coloides de suelo y de la naturaleza de los iones complementarios, los cuales pueden favorecer este aumento. Las pérdidas que se pueden tener de magnesio del suelo son en general menores que las de calcio, se estima, según lo reportado por Hernández, 2001, que las cosechas extraen entre 10 y 60 Kg por hectárea por cosecha.

El potasio es el tercer elemento fertilizante más importante después del nitrógeno y el fósforo. Los valores determinados para el caso de suelo ácido y neutro, tanto para los testigos como para las muestras se observan a continuación en la tabla 4.24.

Tabla 4.24. Comparativa con el catión Potasio

Tipo	Inicial		Blanco		Dosis 1		Dosis 2	
Suelo	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro
K [cmol ⁽⁺⁾ /kg]	3.1	28.5	33.4	150.4	62.8	131.1	54.7	146.7

Los resultados obtenidos para el K⁺ no muestra un cambio, aunque es monovalente, lo cual quiere decir que tendría que estar retenido en la superficie del suelo con menos fuerza que uno divalente y su concentración en soluciones de suelo se esperaría que fueran altas, pero no es así, es baja y esto es debido a que el K⁺ intercambiable tiene una fuerte adsorción a los minerales de silicatos presentes en el suelo, los cuales retienen o fijan fuertemente al potasio, por lo cual su presencia en el intercambio se mantiene constante. Según lo reportado por Bohn *et al.*, 1993, dice que el potasio fijado se reintegra a la solución del suelo en forma tan lenta que no satisface las necesidades de los vegetales.

El caso del sodio es particular, ya que no forma parte de los nutrientes esenciales, más bien forma parte del grupo de cationes que se determinan en el suelo por los efectos que éste tiene sobre él. Los valores determinados para el suelo ácido y neutro, tanto para los testigos como para las muestras se observan en la tabla 4.25.

Tabla 4.25. Comparativa con el catión Sodio

Tipo	Inicial		Blanco		Dosis 1		Dosis 2	
Suelo	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro
Na [cmol ⁽⁺⁾ /kg]	0.96	0.6	0.7	2.0	7.6	11.9	13.4	18.9

Como este ión es de interés químico solamente si se encuentra en exceso, esto quiere decir que se encuentra en más del 15% de total de la capacidad de cambio en los suelos, debido a que afecta en la disponibilidad de los demás cationes intercambiables, ocasionando la defloculación de las arcillas e impide el movimiento del agua. Por tanto, cuando se tiene alto contenido de sodio intercambiable en suelos expansivos, se favorece la infiltración.

Los valores reportados, para el caso de las muestras inicial y blanco, muestran poca presencia de sodio, con lo cual se establece que los suelos estudiados no son salinos y no presentan una influencia negativa debido a éste. Pero para los casos en los que se aplicaron las dosis de orina, presentaron un alto contenido de éste, esto se debe a que la orina contiene una alta cantidad de sodio, 2423.5 mg/L. Debido a lo anterior se puede decir que las muestras de suelo dosificadas con orina presenta toxicidad por él, pero las cantidades de sodio que se lixivian también son altas, por tanto éste es un catión que en la nutrición de las plantas no está claro su papel, y según lo reportado por UE, 2005, en vez de establecer un nivel crítico, se establece un valor máximo de este ión en los suelos, que es de entre 1 y 2 $\text{cmol}^{(+)}/\text{kg}$, encontrándose ya en riesgo de toxicidad para las plantas cuando se superan los 4 $\text{cmol}^{(+)}/\text{kg}$.

Por tanto, el alto contenido de sodio es debido a la cantidad presente en la orina, y que el alto contenido en la orina se debe a las preferencias individuales de sabor y al uso de la sal para conservar los alimentos, en otras palabras a la dieta de los individuos.

De acuerdo con los resultados de la tabla 4.25., a la exposición de los dos suelos con agua y orina durante 20 días, se demuestra que existe variabilidad en el intercambio de cationes entre una prueba y otra con respecto al tipo de suelo utilizado. Es evidente que el suelo es una matriz compleja, que difícilmente se pueden reproducir resultados semejantes como se reporta en la bibliografía, pero en el caso de los cationes intercambiables en ambos suelos se identifican comportamientos que se explican a continuación:

En el caso de suelo ácido, el hecho de someterlo a condiciones de capacidad de campo durante el tiempo descrito, tanto con agua como con las dosis de

orina, implica el incremento y decremento de iones intercambiables, Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ , lo cual se atribuye a que la dosificación de orina, por el contenido de Na^+ y NH_4^+ modifican el intercambio de Ca^{2+} y Mg^{2+} . También se considera que la variación en el blanco sea consecuencia de iones Mg^{2+} dentro de la matriz del suelo que al humectarlo se intercambian por Ca^{2+} . Por otro parte, el pH juega un papel importante en el comportamiento de los iones, dado que al adicionar iones carbonato en la dosis de la orina, provoca que la capacidad del Ca^{2+} y Mg^{2+} disminuya por precipitación de carbonato de calcio y magnesio formados. Esto se puede observar ligeramente en la tabla 4.16., debido a que la repetibilidad de las muestras es difícil y el rango de error es alto, además de que también esta compitiendo la materia orgánica en el proceso de intercambio por los iones.

En lo que respecta al suelo neutro, se considera que por las características de éste, presencia de coloides, al mantener humectado el suelo por tanto tiempo se incrementa la capacidad de intercambio del mismo y si le sumamos a esto la dosificación de Na^+ y NH_4^+ en la orina, esto provoca modificaciones en el intercambio de Mg^{2+} y Ca^{2+} en las pruebas favoreciendo de alguna manera el aumento del sodio.

Por tanto, el efecto de las reacciones que se llevan en el suelo, es atenuar los cambios entre los constantes suministros al suelo y crear una distribución uniforme de los iones intercambiables para que la vegetación los pueda utilizar en su crecimiento.

4.3.5 Cationes solubles (lixiviación)

Las pérdidas de nutrimentos por lixiviación son bajas comparadas con los cationes intercambiables, a excepción del sodio que tiene más pérdida por lixiviación debido a que es muy soluble. Pero esto no quiere decir que la cantidad de cationes perdidos por lixiviación sean totales y de forma homogénea. Según lo reportado por Buckman y Brady, 1977, dicen que debido a las diferencias de los suelos y a la diversidad en su cuidado es prácticamente imposible predecir que la magnitud de la pérdidas de nutrientes por lavado, de cualquier suelo, serán tales o cuales. Pero tomando en consideración lo

reportado por Bohn *et al.*, 1993, donde dice que la carga predominantemente negativa de los coloides del suelo y que estos retienen cationes en la película de agua que se forma sobre las superficies del coloide, provoca que esta retención reduzca la pérdida de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ por lixiviación. Estas pérdidas son consideradas naturales y normales debidas al drenaje del suelo, el cual es muy importante y éste dependerá de la naturaleza del mismo, de la erosión, intemperismo, precipitación pluvial y otros procesos naturales, por lo cual no se ve reflejada alguna afectación en el suelo por la pérdida de estos nutrientes. También otro punto a considerar es que al lograrse el equilibrio en el proceso de intercambio se pueden manifestar procesos como la precipitación de iones en forma de compuestos entre cationes y aniones involucrados.

4.3.6 Nitrógeno y Aniones

a) Nitrógeno

El nitrógeno es el primer elemento fertilizante más importante para el desarrollo y crecimiento de las plantas, el cual rara vez lo contiene el suelo en las cantidades necesarias para soportar una producción vegetal máxima. La rapidez con que los cultivos son capaces de utilizar el nitrógeno suele exceder a la rapidez con que éste es liberado. En consecuencia, la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo suele ser muy pequeña, en promedio las existencias de nitrógeno suelen ser inferiores a los 30 kg por hectárea. La deficiencia de este elemento se observa en las plantas con un color verde pálido, según lo reportado por Thompson, 1982, debido a esto el nitrógeno aplicado a los cultivos presentan espectaculares respuestas a su aplicación, por lo que ha jugado un papel muy importante en la agricultura como fertilizante.

Los valores obtenidos de N como N-tot., para los suelos ácido y neutro tanto para los testigos como para las muestras se observan en la tabla 4.26.

Tabla 4.26. Comparativa con el anión Nitrógeno total

Tipo	Inicial		Blanco		Dosis 1		Dosis 2	
	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro
N tot [mg/kg]	1558	1411	1544	1441	1960	1784	2283	2283

La diferencia que existe entre los testigos y las muestras con la dosis de orina se debe al aporte de N en forma de NH_4^+ como fertilizante aplicado a ambos suelos, esto indica una respuesta favorable del suelo ante la aplicación de orina en el aumento del N tot., como lo reporta Pradhan *et al.**, en su trabajo con el betabel, en el cual reporta que la orina aplicada como fertilizante tiene un mejor crecimiento de las plantas que las que no recibieron ningún tipo de fertilizante.

b) Aniones

Los aniones estudiados (NO_3^- , NO_2^- , PO_4^-), muestran una muy baja presencia pero constante en los suelos tanto antes como después del tratamiento, a excepción del Cl^- que presentan un aumento de las muestras testigo a las muestras con dosis de orina como se muestra a continuación en la tabla 4.27.

Tabla 4.27. Comparativa con el anión Cloruro

Tipo	Inicial		Blanco		Dosis 1		Dosis 2	
	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro
Cl^- [mg/kg]	100.6	88.8	79.9	97.6	118.3	171.6	171.6	201.7

Los resultados muestran mayores concentraciones en ambos suelos, esta diferencia se debe al aporte de cloruros por parte de la orina, la cual contiene 5657.67 mg/L de Cl^- . El aumento de cloruros beneficia el crecimiento vegetal interviniendo en el transporte de nutrientes como son el K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , a las plantas.

Los resultados de HCO_3^- se muestran a continuación en la tabla 4.28., tanto para los testigos como para las muestras. La relación entre CO_3^{2-} y HCO_3^- , no se pudo hacer debido a que el CO_3^{2-} , no tiene presencia en el estudio debido a que el parámetro dio cero.

Tabla 4.28. Comparativa con el anión Bicarbonato

Tipo	Inicial		Blanco		Dosis 1		Dosis 2	
Suelo	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro	Ácido	Neutro
HCO_3^- [mg/kg]	61	61	61	61	61	83	61	83

Para el caso del suelo ácido tuvo un valor de 61 mg/kg de suelo en todas sus muestras, esta tendencia se mostró también para el suelo neutro en las muestras testigo, pero para las muestras de suelo con dosis de orina aumentó y el aumento fue constante para ambas dosis. Esto se debe a que la concentración de orina aumento, por tanto al aumentar la cantidad de ésta, aumenta la concentración de HCO_3^- y se incrementa el pH como se puede ver en la tabla 4.19.

5. Conclusiones

Con base en los resultados se describen a continuación las conclusiones del trabajo experimental.

- Se concluye que la orina después de un periodo de almacenamiento de 5 meses sus características cambian aumentando su pH, conductividad y N total, debido a la hidrólisis de ésta. En cuanto a los metales contenidos en ella, el Ca y Mg bajan su concentración debido a que forman precipitados con los carbonatos de la orina.

- En cuanto al suelo, determinar sus propiedades físicas y químicas, es difícil debido a que el suelo es un sistema complejo y muy heterogéneo, lo cual hace que su análisis sea difícil y su repetibilidad tenga grandes variaciones.

- La aplicación de orina humana en dos dosis distintas para observar cual de éstas responde mejor ante el suelo como fertilizante natural, resulta ser que ambas responden de forma general de la misma manera, pero entre suelos, el ácido responde en términos generales igual para ambas dosis y el neutro responde de forma irregular disminuyendo y aumentando. Esta modificación en las características del suelo, beneficia a éste, ya que se le reintegran nutrimentos necesarios para tenerlo fértil y en buenas condiciones para que los cultivos vegetales puedan desarrollarse.

- La evaluación de los suelos estudiados muestran inicialmente condiciones de pH, conductividad óptima para el crecimiento vegetal, valores bajos de iones intercambiables y N total, pero no escasos y una CIC del orden de 40 cmol/ kg todo esto los identifica como suelos fértiles y buenos para actividades agrícolas, como las que se realizan en esta zona de los Reyes, Michoacán, donde se cultiva zarzamora, aguacate y caña.

Después del periodo de experimentación las condiciones físicas del suelo estudiado no cambiaron, pero sí las condiciones químicas en ambos suelos ácido y neutro. El aumento en el pH fue ocasionado por las reacciones de

intercambio ácido-base y precipitación que ocurrieron durante la experimentación, debido a que la orina permanece dentro de la estructura del mismo, el aumento de la conductividad fue ocasionado como consecuencia de los iones que contiene la orina y a las reacciones que ocurren entre ellos, los cuales también intervienen en los iones intercambiables: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , aumentando su concentración en la solución del suelo.

Después de cuantificar los cationes intercambiables, se corrobora que los cationes divalentes son retenidos con más fuerza en la superficie del suelo que los monovalentes, como se muestra en serie de remplazabilidad relativa del ion: $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$, esto es debido a que la retención está relacionada directamente con la carga del ión, siendo el sodio más fácil de desplazar, por eso su interés químico ya que si se encuentra en exceso éste afecta la disponibilidad de los demás cationes intercambiables al estar en concentraciones altas en la solución del suelo.

El aumento de nitrógeno total en los suelos, es provocado por la dosificación de orina en ellos. Este aumento se debe a que la orina contiene altas cantidades de nitrógeno disponible para ser utilizado directamente en los cultivos, y como éste es uno de los nutrimentos indispensables para el desarrollo vegetal, esta es la razón de elegirlo como fertilizante natural, además de que resulta ser de bajo costo ya que es un residuo humano. Ahora bien el problema de éste fertilizante radica en las altas concentraciones de sales que pueden afectar a los suelos de forma tóxica e impedir el desarrollo de los cultivos, en específico la sal de sodio, que es la que se presenta en más alta cantidad.

La CIC en los suelos, ácido y neutro, disminuyó en el suelo ácido éste cambio no afecta tanto porque se mantiene en el orden de 40 cmol/kg, clasificándolo como suelo fértil, en cambio el suelo neutro sí se ve afectado ya que cambia a un orden de 30 cmol/kg. Esta disminución en los suelos dosificados con orina se debe muy posiblemente al elevado aumento en el pH, a la presencia de óxidos de aluminio y hierro, a la materia orgánica y a las características de estas arcillas que no son simples ni uniformes. Todo lo anterior provoca que las arcillas del suelo reduzcan su superficie de intercambio afectando la retención

de los cationes, los cuales se pierden por lixiviación. Por tanto la hipótesis no se cumple del todo ya que la CIC disminuye, resultando más afectado el suelo neutro por el tipo de arcilla que lo compone, como se comprobó con los análisis de DRX y FRX, pero los nutrimentos sí aumentaron debido a la carga nutricional de la orina, por lo que se necesita seguir experimentando con diferentes concentraciones, bajas y altas, de orina y distintos suelos para poder asegurar los beneficios que la orina puede brindar en la agricultura.

No se puede comparar la CIC con los iones intercambiables debido a que existe un enmascaramiento por iones que se encuentran flotantes en la estructura del suelo, y que no forman parte del intercambio catiónico, interfiriendo en la cuantificación de los intercambiables dando valores sobre estimados de estos. Esto hace pensar que los métodos están hechos para realizar sólo estudios de caracterización de suelos y no para realizar experimentos con ellos.

- Experimentar con suelo es una tarea difícil por el comportamiento complejo que tiene al estar sujeto a reacciones de equilibrio de diversa índole, sin embargo los resultados demuestran que la aplicación de la orina ayuda a mejorar sus características para el cultivo, pero cuidando que el pH no sea tan elevado para afectar su crecimiento, resultando que el pH óptimo para los cultivos es igual a pH 7, ideales para la mayoría de los cultivos. También se concluye que realizar este tipo de experimentos no es práctico para propósitos de prueba debido al tiempo y precisión experimental que se requiere, esto se debe a que el suelo al ser un sistema disperso dificulta su estudio por su heterogeneidad.

- Es conveniente experimentar el comportamiento del suelo expuesto a algún cultivo para confirmar o conocer el efecto de la dosificación de un residuo como la orina humana.

- Lo sobresaliente de este trabajo es que se trata de un estudio en el cual se caracteriza el suelo y se experimenta en él, no con los cultivos que crecen en éste, sino con la fuente de nutrientes que la tierra brinda a los cultivos para

desarrollarse, el suelo. Es impresionante y maravilloso todos los procesos que se llevan a cabo en él para poder desarrollar y sustentar la vida en la Tierra.

Debido a las observaciones finales del trabajo, se necesita seguir experimentando con estos suelos, además sería muy bueno experimentar también con dosis de concentración más bajas y altas con respecto a las trabajadas para poder determinar cual responde mejor en el suelo y mejora la fertilidad de éste.

5.1 Recomendaciones para estudios posteriores

- Hacer una evaluación microbiológica del suelo y de la orina.
- Se recomienda experimentar con dosis de concentración más bajas y altas con respecto a las trabajadas para poder determinar cual concentración responde mejor en el suelo y mejora la fertilidad de éste.
- Realizar pruebas de aplicación de orina humana a diversos cultivos, para así poder observar, medir y analizar el efecto que este tiene en el cultivo.
- Realizar estudios de salinidad al aplicar cantidades constante de orina en suelos agrícolas.

Referencias bibliográficas

Aguilera, N. (1989). Tratado de edafología de México, Tomo 1, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.

Alcalá, de Jesús María; Ortiz, Solorio, Carlos A.; Gutiérrez, Castorena Ma. Del Carmen. (2001). Clasificación de los suelos de la meseta Tarasca, Michoacán, Michoacán. México. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Posgraduados. Terra Volumen 3.

AWWA, Métodos Normalizados, Para el análisis de aguas potables y residuales. (1992). Preparado y publicado conjuntamente por: AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF), Título original: "Standard Methods" for the examination of water and wastewater, edición 17, Ediciones Díaz de Santos, S. A., 1992.

Catedral, Ortíz L. (2000). Origen y desarrollo de la agricultura. <http://www.cucba.udg.mx/sitiosinteres/coaxican/agricultura/origagri.htm>

Bautista, Zúñiga F.; Rivas, Solórzano H.; Durán, de Bazúa C.; Palacio, G. (1998). Caracterización y clasificación de suelos con fines productivos en Córdoba, Veracruz, México. México, Investigaciones Geográficas Boletín 36.

Bye R. (1993). The role of humans in the diversification of plants in México. In Ramamoorthy T. P., Bye R., Lot A. & Fa J. Biological diversity of México: origins and distribution. Oxford University Press. New York. Páginas 707-732.

Blaylock, Alan D. (1994). Soil salinity, salt tolerance, and growth potential of horticultural and landscape plants. University of Wyoming.

Bohinski, Robert C. (1998). Bioquímica. Quinta edición. Pearson Educación pp. 668-670.

Bohn, H. D.; McNeal, L. B. y O'Connor, A. G. (1993). Química del suelo, Limusa, México D.F.

Brack, A. y Mendiola, C. (2006). Enciclopedia ecológica del Perú, Perú ecológico, Embajada de Finlandia Lima, <http://www.peruecologico.com.pe/libro.htm>.

Buckman, H. O. y Brady, N. C. (1977). Naturaleza y propiedades de los suelos, título original "The nature and properties of soil". Editorial Montaner y Simon, S.A. Barcelona España

Centro de Información y Comunicación Ambiental del Norte de América A.C. www.ciceana.org.mx.

Ciba-Geigy, (1977). Wissenschaftliche Tabellen Gergy, Teilband Körperflüssigkeiten (Scientific Tables Gergy Volumen: Body Fluids. 8th ed. Basel. In German.

Clark, G.A. (2003). A test of the production of organically fertilized amaranth in Tehuixtla, Morelos, Mexico. Manuscript available from esac@laneta.apc.org.

Conti, M. E. (2004). Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo. El sitio agrícola, <http://www.elsitioagricola.com/articulos/conti/liberación%20y%20fijación%20potasio.asp>.

Dana, Edward S. and Ford, William E. (1986). Tratado de mineralogía, 13^a edición, editorial C.E.C.S.A., México.

Echarri, Prim Luis. (1998). Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente, libro electrónico. Universidad de Navarra. Editorial Teide

<http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecología/Hipertextos/04Ecosis/135CicN.htm>.

Fassbender, H. W. y Bornemisza, E. (1987). Química del suelos, con énfasis en suelos de América Latina, Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura, San José.

FitzPatrick, E. A. (1987). Suelos, su forma, clasificación y distribución, CECSA, México D.F.

García, I. (2004). “Contaminación por Fertilizantes” en García y Dorronsoro (2004) “Contaminación del Suelo (Cursos)”, <http://www.edafología.ugr.es/conta/tema14/intro.htm>

Germer, Jörn; Addi, Solomon; Sarpong, Daniel (2009). Urine. University of Hohenheim, Berger Biotechnik, Valley View University.

Glibert, Patrician M.; Harrison, John.; Heil, Cynthia and Seitzinger, Sybil (2006). Escalating worldwide use of urea- a global change contributing to coastal eutrophication. Vol 77: 441-463

Guzha, E.; Nhapi, I; Rockstrom, J. (2005). An assessment of the effect of human faeces and urine on maize production and water productivity. Revista: Phys. Chem. Earth 30,840-845.

Guadarrama, R. O.; Pichardo, N. A.; Morales-Oliver, E. (2001). Urine and Compost Efficiency Applied to Lettuce under Greenhouse Conditions in Temixco, Morales, Mexico. In: Abstract Volume, First International Conference on Ecological Sanitation 5-8 November 2001, Nanning, China.

Hammerly M. A. (1979). Enciclopedia Medica Moderna, Tomo 3. Mountain View. Publicaciones Internacionales.

Heinonen-Tansk, H.; Sjöblom, A.; Fabritius, H.; Karinen, P. (2005). Pure human urine is a good fertilizer for cucumbers, Universidad de Kuopio Finlandia.

Hernández, R. (2001). Nutrición mineral de las plantas. LibroBotanicaOnLine, Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales,

Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela,
<http://www.ferest.ula.ve/-rubenhg/nutricionmineral/>.

Hernández X. E. & Zárate A. M. A. (1991). Agricultura tradicional y conservación de recursos genéticos in situ. In Ortega P. R., Palomino H. G., Castillo G. F., González H. V. A. & Livera M. M. (eds). Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos de México. Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. México páginas 7-28.

Hernández X. E. (1993). Aspects of plant domestication in México: a personal view. In Ramamoorthy T. P., Bye R., Lot A. & Fa J. (eds). Biological diversity of México: origins and distribution. Oxford University Press. New York. Páginas 733-753.

IMP (Instituto Mexicano del Petróleo) (2006). Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados.

IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). (1990). Mecánica de suelos. Colección breviaros del agua. Serie educativa. Comisión Nacional de Agua.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), (1983). Carta edafológica 1:50 000, de la zona Los Reyes E13B28, Michoacán.

Irouleguy, Victoria (1975). De agrarische geschiedenis van West-Europa, Utrecht-Amberes.

Israelson, O.W. and West, F.L. (1922). "Water holding capacity of irrigated soils". Utah State Agricultural Experiment Station Bull 183: 1-24.

Jackson, M. L. (1982). Análisis químico de suelos, Omega S.A., Barcelona.

Johansson, M.; Jönsson, H.; Höglund, C.; Richert Stintzing, A. and Rodhe, L. (2001). Urine separation – closing the nutrient cycle. Stockholm Water Company. Stockholm, Suecia. Available at: http://www.stockholmvatten.se/pdf_arkiv/english/Urinsep_eng.pdf.

Jönsson, H. y Vinnerås, B. (2004). Adapting the nutrient content of urine and faeces in different countries using FAO and Swedish data. In: Ecosan – Closing the loop. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, 7th-11th April 2003, Lübeck, Germany. pp 623-626.

Jönsson, H.; Richert Stintzing, A.; Vinnerås, B.; Salomon, Eva (2004). Lineamientos para el uso de la orina y heces en la producción de cultivos. Serie de publicaciones de Eco San Res. Programa EcoSanRes y del Instituto Ambiental de Estocolmo. <http://www.ecosanres.org>.

Jönsson, H., Vinnerås, B., Höglund, C., Stenström, T.A., Dalhammar, G. & Kirchmann, H. (2000). Källsorterad humanurin i kretslopp (Recycling source separated human urine) (In Swedish, English summary). VA-FORSK Report 2000•1. VA-FORSK/VAV. Stockholm, Sweden.

Kirchmann, H. y Pettersson, S. (1995). Human urine – chemical composition and fertilizer efficiency. Revista: Fertilizer Research 40:149-154.

Kvarmo, P. (1998). Humanurin som kvävegödselmedel till stråsäd (Human urine as nitrogen fertilizer to cereals) (In Swedish). MSc thesis 1998, no 107, Department of Soil Science, Swedish University of Agricultural Sciences. Suecia.

Lentner, C.; Lentner, C. y Wink, A. (1981). Units of Measurement, Body Fluids, Composition of the Body, Nutrition. Geigy Scientific tables. Ciba-Geigy, Basel, Switzerland.

López-Mtz, J. D.; Díaz, Estrada A.; Martínez, Rubin E. y Valdez, Cepeda, R.D. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. Terra 19: 293-299.

Luelmo, Julio (1975). Historia de la agricultura en Europa y América. Madrid: Ediciones Istmo.

Marcel, Mazoyer; Laurence, Roudart (2002). Histoire des agricultures du monde: Du néolithique à la crise contemporaine, Paris: Seuil. ISBN 2020530619, engl. A History of World Agriculture (2006). From the Neolithic Age to the Current Crisis, New York: Monthly Review Press. ISBN 1-58367-121-8.

Marín, Araya Maritza (2006). Recolección, tratamiento y aplicación de orina humana. Bioensayo CNF y L. ACEPESA

Martínez, J. L. y Monje, I. (2009). Informe final del proyecto situación actual de la problemática ambiental del cultivo de la zarzamora en el municipio de Los Reyes Michoacán. Universidad Nacional Autónoma de México.

Maurer, M.; Schwegler, P. and Larsen, T.A. (2003). Nutrients in urine: energetic aspects of removal and recovery. Dübendorf, Switzerland. Revista: Water Science and Technology, Vol 48 No 1 pp 37–46.

Maurer, M.; Pronk W. and Larsen, T.A. (2006). Treatment processes for source-separated urine. Revista: Water Research 40 (2006) 3151-3166.

MILCHUNAS D.G., PARTON W.J., BIGELOW D.S. and SCHIMEL D. S. (1988). Factors Influencing Ammonia Volatilization from Urea in Soils of the Shortgrass Steppe*. USA. Revista: Journal of Atmospheric Chemistry 6 (1988) 323-340.

Mnkeni, P.N.S.; Austin, A. and Kutu, F.R. (2004). Preliminary Studies on the Evaluation of Human Urine as Source of Nutrients for Vegetables in the Eastern Cape Province, South Africa. South Africa. Faculty of Science and Agriculture University of Fort Hare, South Africa.

Mnkeni, P.N.S.; Kutu F.R.; Muchaonyerwa, P.; Austin, L. M. (2008). Evaluation of human urine as a source of nutrients for selected vegetables and maize under tunnel house conditions in the Easter Cape, South Africa. Revista: Waste Management and Research 2008: 26: 132-139.

NMX-AA-24-1984. Norma Mexicana (1984). Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de nitrógeno total.

NOM-182-SSA1-1998. Norma Oficial Mexicana (1999). Etiquetado de nutrientes vegetales.

NOM-AA-051-SCFI-2001. Norma Oficial Mexicana (2001). Análisis de agua, determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales potables, residuos y residuales tratadas.

NOM-021-RECNAT-2000. Norma Oficial Mexicana (2002). Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. SEMARNAT. Diario Oficial de la Federación, México D.F

Ortiz, B. y Ortiz C. (1990). Edafología, Departamento de suelos, Universidad Autónoma de Chapingo, Patronato Universitario, Texcoco.

Porta, J; López_Acevedo, R. M. y Roquero de Laburu, C. (1994). Edafología para la agricultura y el medio ambiente, Mundi-Prensa, Madrid.

Pradhan, S. K;Nerg, A-M.; Sjöblom, A.; Holopainen, J. K.; Heinonen_Tanski, H. (2007). Use of human urine fertilizer in cultivation of cabbage (*brassica oleracea*): Impacts on chemical, microbial and flavor quality. Revista: J. Agric. Food Chem. 2007, 55, 8657-8662.

Pradhan, S. K; Holopainen, J. K.; Heinonen_Tanski, H. (2009). Stored human urine supplemented with wood ash as fertilizer in tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivation and its impacts on fruits yield and quality. Finlandia. Revista: J. Agric. Food Chem. 2009, 57, 7612-7617.

Pradhan, S. K; Holopainen, J. K.; Heinonen_Tanski, H. (* En proceso de publicación). Human urine and wood ash plant nutrients for Red Beet (*Beta Vulgaris*) cultivation: Impacts on yield quality. Finlandia. Revista: J. Agric. Food Chem. XXXX, XXX, 000-000.

Powell J. M., Ikpe F. N., Somda and Fernández-Rivera S. (1998). Urine effects on soil chemical properties and the impact of urine and dung on pearl millet yield. Revista: Expl. Agriculture vol. 34, pp. 259-276.

Richert Stintzing, A., Rodhe, L. y Åkerhielm, H. (2001). Human urine as fertilizer – plant nutrients, application technique and environmental effects (In Swedish, English summary). JTI-Rapport Lantbruk y Industri 278, Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering. Suecia.

Rucks L.; García, F.; Kaplán, A.; Ponce de León y Hill M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Facultad de Agronomía de la Universidad de la República
Montevideo.
<http://www.fagro.edu.uy/~edafología/curso/Material%20de%20lectura/FISICA/fisicas.pdf>.

Sawer Ron (2007). Saneamiento sostenible, Agua y seguridad alimentaria para America latina. Sarar Transformación S.C. <http://www.sarar-t.org>.

Sullivan, L. P. and Grantham, J. J. (1982). Kidney function tests, Physiology (second ed.), Lea & Febiger, Philadelphia (1982) p. xi 236. No. 102-142-644.

Surendra K. Pradhan, Jarmok Holapainen and Helvi Heinonen Tanski (2009). Stored humand urine supplementes with wood ash as fertilizer in tomato (solanum lycopersicum), cultivation and it´s impacts on fruit yield an quality. Universidad de Kuopio Finlandia.

Sullivan Preston (2007). ATTRA, el manejo sostenible de los suelos. www.ttra.ncat.org.

Tamhane, R. V.; Motiramani, D. P.; Bali Y. P.; Donahue R. L. (1986). Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales, título original “Soil-their chemistry and fertility in tropical Asia. Editorial Diana México.

Tarbuck, E. J.; Frederick K. L. (2005). Ciencias de la Tierra, una introducción a la geología física, editorial Person Prentice Hall. España.

Tidaker Pernilla, Mattsson Berit, Jönsson, H. (2005). Environmental impact of wheat production using human urine and mineral fertilizers – a scenario study. Suecia. Revista Journal of Cleaner Production 15 (2007) 52-62.

Thomas R.J., Logan K.A.B., Ironside A.D., and Milne J.A. (1986). Fate of sheep urine-N applied to an upland grass sward. Reino Unido. Revista: Plant and Soil 91,425-427 (1986).

Thompson Louis M.; Frederick R. Troeh. (1982). Los suelos y su fertilidad, 4^o edición, editorial Reverté. España 1982.

UE (Universidad de Extremadura). (2005). Programa de edafología. Primer curso de Ciencias Ambientales. Lección 5. Propiedades del suelo. Area de edafología y química agrícola, <http://www.unex.es/edafo/ECAP/ECAL5Programa.htm>.

UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). (2004). Historia de México. http://sunsite.unam.mx/historia_mexico.html.

Vinnerås B. (2002). *Possibilities for sustainable nutrient recycling by faecal separation combined with urine diversion.* Agraria 353, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Suecia.

Vinnerås, B., Höglund, C., Jönsson, H. y Stenström, T.A. (1999). Characterisation of sludge in urine separating sewerage systems. In: Klöve B., Etniner C., Jenssen P. y Maehlum T. (ed.) Proceedings of the 4th International Conference – Managing the Wastewater Resource Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Norway. June 7-11. 1999.

Vázquez-Contreras Edgar (2003). Bioquímica y biología molecular, Instituto de Química, UNAM. <http://bq.unam.mx/~evazquez>.

Whitehead D.C. and Raistrick N. (1993). The volatilization of ammonia from cattle urine applied to soil as influenced by soil properties. Revista: Plant and Soil 148: 43-51, 1993.