



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

**“DESCRIPCIÓN FÍSICOQUÍMICA DE SUELOS Y *Avena*
Sativa VARIEDAD KARMA EN APAN, HIDALGO”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN QUÍMICA

PRESENTA:

ROSA GUADALUPE BAÑOS LÓPEZ

ASESORES:

DR. FRANCISCO PRIETO GARCÍA

DRA. ALMA DELIA ROMÁN GUTIÉRREZ

Pachuca de Soto, Hidalgo

Noviembre 2010

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE TABLAS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.VI
GLOSARIO DE TÉRMINOS	VI
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
II.1. SUELOS	3
II.1.1 Toma de muestra	8
II.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	10
II.2.1. Estructura del suelo	10
II.2.2.Densidad del suelo	10
II.2.3.Textura	11
II.3. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO	12
II.3.1. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	12
II.3.2. pH	13
II.4. MACRONUTRIENTES Y MICRONUTRIENTES DEL SUELO.	14
II.5. INDICADORES E ÍNDICES DE CALIDAD DE SUELOS	14
II.6. CEREALES	17
II.7. AVENA	17
II.8. MORFOLOGÍA Y TAXONOMÍA	18
II.9. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA AVENA	19
II.10. IMPORTANCIA ECONÓMICA Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA.	21
II.11. VARIEDAD DE AVENA	23
II.12. USOS DE LA AVENA	24
III. OBJETIVOS	26

III.1. OBJETIVO GENERAL	26
III.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	27
IV.1. MUESTREO Y CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA DE SUELO	27
IV.2. ANÁLISIS FÍSICOS DEL SUELO	27
IV.2.1. Secado y tamizado de las muestras	27
IV.2.2. Determinación de la textura	28
IV.2.3. Capacidad de campo	28
IV.3. Análisis químicos del suelo	28
IV.3.1. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	28
IV.3.2. pH y potencial redox (Eh)	28
IV.3.3. Potencial zeta (pZ)	29
IV.3.4. Determinación de materia orgánica	30
IV.3.4. Cenizas	31
IV.4. INDICADORES DE CALIDAD DE SUELOS	31
IV.5. ANÁLISIS FÍSICOS DE LA AVENA	34
IV.5.1. Análisis sensorial y Temperatura	34
IV.5.2. Impurezas y sanidad	34
IV.5.3. Densidad	35
IV.5.5. Dureza	35
IV.6. ANÁLISIS QUÍMICO DE LA AVENA	35
V. RESULTADOS Y DISUCIÓN	37
V.1. ANÁLISIS DE SUELO.	37
V.1.1. Análisis físicos.	37
V.1.2. Análisis químicos.	40
V.1.3. Indicadores de calidad de suelos.	42
V.2. ANÁLISIS DE AVENA.	45
V.2.1. Análisis morfológico de los granos de avena	45
IV.2.2. Análisis sensorial, temperatura, impurezas y sanidad	45

V.2.3. Análisis físicos de la avena.	46
V.2.4. Análisis químicos de la avena.	47
V.2.5. Distribución y tamaños de partículas en granos de avena	50
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
VII. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	55

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN VOLUMÉTRICA DE UN SUELO	4
FIGURA 2. FASES DEL SUELO	4
FIGURA 3. ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LOS PROCESOS DE INTERCAMBIO IÓNICO	7
FIGURA 4. SITIOS DE MUESTREO EN EL MUNICIPIO DE APAN, HIDALGO	8
FIGURA 5. DIFERENTES PATRONES DE RECORRIDO PARA EXTRAER SUB-MUESTRAS	9
FIGURA 6. REPRESENTACIÓN DE LOS TIPOS DE ESTRUCTURA DE LOS SUELOS	10
FIGURA 7. DIAGRAMA DE LA DENSIDAD Y POROSIDAD DEL SUELO	10
FIGURA 8. TRIÁNGULO DE TEXTURAS	12
FIGURA 9. DIAGRAMA DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	13
FIGURA 10. ESQUEMA DE UN CARIOPSE DE AVENA	18
FIGURA 11. MUESTRA DE GRANOS DE AVENA CON CÁSCARA	45
FIGURA 12. CORTE TRANSVERSAL DEL GRANO DE AVENA	49
FIGURA 13. DETALLE DE LAS VELLOSIDADES DE LA BARBA DEL GRANO DE AVENA	49
FIGURA 14. DETALLES DEL ENDOSPERMO DEL UN GRANO DE AVENA	50
FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN Y TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN LOS GRANOS DE AVENA MOLIDOS (HARINA)	51

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. TIPOS DE IONES PRESENTES EN LA DISOLUCIÓN ACUOSA DEL SUELO	6
TABLA 2. RELACIÓN DE VALORES DE LA DENSIDAD APARENTE	11
TABLA 3. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	13
TABLA 4. COMPOSICIÓN QUÍMICA PROXIMAL DE LA AVENA	21
TABLA 5. PRODUCCIÓN DE AVENA	22
TABLA 6. CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN EL PH	28
TABLA 7. PARÁMETROS DE POTENCIAL REDOX	29
TABLA 8. CLASIFICACIÓN DE SUELOS EN BASE A LOS CONTENIDOS DE MATERIA ORGÁNICA	30
TABLA 9. INDICADORES PROPUESTOS PARA EVALUACIÓN DE CALIDAD DE SUELOS	32
TABLA 10. CLASES DE CALIDAD DE SUELOS	33
TABLA 11. RESULTADOS DE POTENCIALES Y TIPO DE SUELO	37
TABLA 12. RESULTADOS DE DENSIDADES Y CAPACIDADES PARA LOS SUELOS DEL MUNICIPIO APAN	38
TABLA 13. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LOS SUELOS DEL MUNICIPIO APAN	40
TABLA 14. COMPARACIÓN DE LAS RELACIONES DE METALES PRESENTES EN LOS SUELOS	42
TABLA 15. INDICADORES E ÍNDICES DE CALIDAD DE SUELOS (ICS)	43
TABLA 16. ANÁLISIS FÍSICOS EN EL GRANO DE AVENA	46
TABLA 17. ANÁLISIS QUÍMICOS EN EL GRANO DE AVENA EXPRESADOS EN PORCENTAJE	47
TABLA 18. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA DISTRIBUCIÓN Y TAMAÑOS DE PARTÍCULAS	52

Glosario de términos

Antera: Extremo superior del estambre de una flor, que contiene el polen.

Biomasa: La biomasa es el nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético.

Cariósido: Fruto seco e indehisciente a cuya única semilla está íntimamente adherido el pericarpio.

Capacidad de intercambio iónico: Corresponde a la cantidad de iones metálicos que una determinada cantidad de suelo es capaz de intercambiar. Estos intercambios son vitales para que los iones metálicos puedan acceder a la planta.

Coloide: Es un sistema físico-químico formado por dos o más fases, principalmente éstas son: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas.

Cota: Altura de un punto sobre un plano horizontal de referencia.

Dehiscencia: Apertura espontánea de las anteras de una flor para dejar salir el polen, o de un fruto para liberar las semillas.

Densificación: Hacer que un material adquiera mayor densidad.

Deyecciones: Conjunto de materias arrojadas por un volcán o desprendidas de una montaña.

Disolución acuosa: Se habla de una disolución acuosa siempre que el disolvente (o el disolvente mayoritario, en el caso de una mezcla de disolventes) es agua. El agua como disolvente es muy polar y forma puentes de hidrógeno muy fuertes.

Edafología: Rama de la ciencia del suelo que estudia la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea.

Encamado: Accidente vegetativo de origen nutricional, parasitario, genético o climático, que provoca el vuelco o tumbado de la planta y disminuye su rendimiento.

Endospermo: El endospermo o albumen es la reserva alimentaria contenida en la semilla.

Escorrentía: Corriente de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauce naturales o artificiales.

Estipula: Estructura laminar que se presenta con frecuencia en la base de la hoja.

Estructura del suelo: Es la manera en que se reúnen las partículas del suelo en forma de agregados naturales o *peds* (terroncitos). Esta asociada con el espacio poroso del suelo y el movimiento de agua que hay dentro de este.

Glumas: Son estructuras florales en forma de hoja que encierran a las cariósides de los cereales.

Gramíneas: Familia de plantas herbáceas o muy raramente leñosas de tallo cilíndrico y nudoso.

Herbácea: Plantas no lignificadas o con tallo más o menos duro y rígido.

Interacciones superficiales: Como por ejemplo la adsorción entre componentes del suelo y otros compuestos ya sean naturales o contaminantes.

Infiltración: Está relacionada con el agua que puede penetrar en un suelo.

Inflorescencia: Conjunto de flores que nacen agrupadas de un mismo tallo: la espiga, como la del romero, es un tipo de inflorescencia que presenta flores sin tallo dispuestas a lo largo de un eje.

Invernáculo: Lugar cubierto y abrigado artificialmente para defender las plantas de la acción del frío.

Lígula: Apéndice membranoso corto situado entre la vaina y la lámina de la hoja en algunas familias de plantas.

Limbo: Parte más ancha y aplanada de las hojas de las plantas: la comparación de los limbos permite clasificar las plantas.

Litosfera: Capa que constituye la corteza exterior de la tierra.

Materia orgánica: Son sustancias que suelen encontrarse en el suelo y que contribuyen a su fertilidad, compuesta principalmente por residuos animales o vegetales.

Morfología: Parte de la biología que trata de la forma de los seres orgánicos y de las modificaciones o transformaciones que experimenta.

Nutrimiento: Es cualquier elemento o compuesto químico necesario para el metabolismo de un ser vivo.

Panícula: Inflorescencia compuesta cuyas ramas, de longitud decreciente hacia el ápice, forman en conjunto una especie de pirámide.

Pedúnculo: Tallo por el que una hoja, flor o fruto se une a la planta.

Percolación: Se refiere al paso lento de las aguas a través de los materiales porosos.

Pericarpio: Parte exterior del fruto de las plantas, que cubre el endospermo.

Permeabilidad: Capacidad de un material para que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna.

Porosidad: Condiciona la movilidad de los compuestos solubles y de los volátiles.

Procesos ácido-base: Influyen en el grado de descomposición de la materia orgánica y de los minerales, en la solubilidad de algunos contaminantes y en conjunto en los procesos controlados por el pH del suelo.

Propiedades coloidales: Explican los procesos de agregación e inmovilización de partículas.

Radicular: Relativo a las raíces.

Reacciones redox: Originados en el metabolismo de los microorganismos del suelo, afectan a elementos naturales y contaminantes.

Resiliencia: Es la capacidad de resistencia que se tiene ante situaciones de fuerte y prolongado estrés.

Taxonomía: Ciencia que trata de los principios, métodos y fines de la clasificación. Se aplica en particular, dentro de la biología, para la ordenación jerarquizada y sistemática, con sus nombres, de los grupos de animales y de vegetales.

Temperatura: De ella dependen los procesos de alteración de los materiales originarios o la difusión de los contaminantes.

I. INTRODUCCIÓN

El suelo es la parte más superficial de la litosfera; está constituido por una mezcla variable de partículas minerales, materia orgánica, aire y una disolución acuosa (Zárate *et* Vargas, 2009).

Es un sistema polifásico (fases sólida, líquida, gaseosa y orgánica) y heterogéneo donde existen productos orgánicos y minerales, que constituyen ambientes de gran valor para el hombre, los animales y las plantas; estos últimos nacen, crecen, se reproducen y mueren directa o indirectamente en ellos (Cepeda, 1999). Las características que debe tener un suelo para fines agrícolas son: 40% de arena, 40% de limo y 20% de arcilla, ya que son ligeros, tienen una capacidad de retención de agua moderada y son químicamente reactivos (Manahan, 2006).

Los cereales son los frutos de pastos cultivados que pertenecen a la familia de las gramíneas, considerada como la más grande e importante en el mundo. Constituyen un conjunto de plantas de gran importancia para la humanidad, ya que son el alimento que contribuye con el aporte energético como los numerosos nutrientes para el organismo (Serna, 2009). De ahí la importancia de estudiar la avena.

El cultivo de la avena es una de las principales fuentes de alimentación para la humanidad, difieren en sus propiedades físicas dentro de cada especie. Las propiedades físicas de sus granos se relacionan con su composición química y las propiedades funcionales. La caracterización de la clase y el grado de calidad de los cereales juega un papel fundamental y crítico en el mercado (FAO, 1999).

La producción de una gran variedad y presentaciones de cereales expandidos de trigo, avena, arroz y maíz es en la actualidad un reto comercial ya que el control de calidad de estos se hace cada vez más exigente. En la comercialización de granos, generalmente se consideran los atributos y pruebas de calidad establecidos en normas. En México la comercialización de la avena para consumo humano está regida por la norma CODEX STAN 201-1995.

El cariósido o grano maduro de la avena está compuesto por carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas y sales minerales. El estudio del análisis proximal se emplea para hacer descripciones de los alimentos y así conocer sus componentes químicos mayoritarios (Matissek *et al.*, 1998).

El objetivo principal de esta investigación es determinar la composición fisicoquímica de los suelos de la región de Apan en el estado de Hidalgo, donde se cultiva la avena y los estudios de composición química por análisis proximales de la misma de la variedad karma como la más cultivada.

II. ANTECEDENTES

II.1. Suelos.

El término suelo se refiere a la región en que se sustenta la vida vegetal y de la cual las plantas obtienen soporte mecánico y muchos de sus nutrientes (Cong, 1994). La interacción del agua con el suelo ejerce una clara influencia sobre la composición del mismo, ya que actúa como disolvente de diversos elementos minerales y como intermediaria entre el suelo y las plantas: éstas toman el agua a través de las raíces. A su vez, las plantas se descomponen proporcionando materia orgánica al suelo.

La modificación o transformación por contaminación, deforestación, etc. de alguno de los factores que conforman un suelo implica un desequilibrio que afecta al resto de los factores y activa normalmente, procesos de regresión en ese suelo. El análisis químico de suelos es una herramienta fundamental para determinar sus características, el nivel de fertilidad y conocer la cantidad de nutrientes que se requieren para optimizar la producción vegetal (Barrera, 2010).

Cada suelo se caracteriza por sus propiedades físicas y químicas. El conocimiento de las características físico-químicas de un suelo, permitirá prever la dinámica de las sustancias contaminantes. Entre las características de un suelo se destacan: porosidad, temperatura, procesos acido-base, reacciones redox, propiedades coloidales, interacciones superficiales y capacidad de intercambio catiónico.

En general, un suelo tiene la siguiente composición volumétrica (Manahan, 2006) (Figuras 1 y 2):

- 50% de materia sólida: 45% mineral y 5% orgánica
- 20-30% disolución acuosa
- 20-30% aire

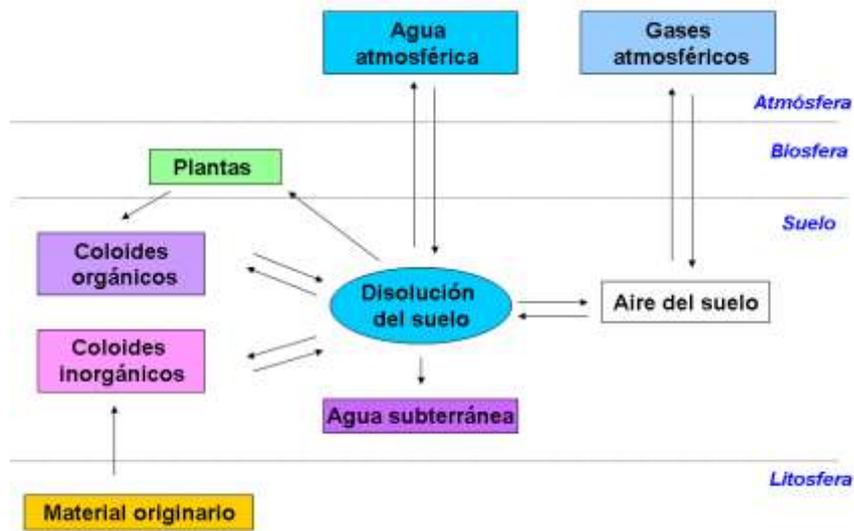


Figura 1. Esquema de distribución volumétrica de un suelo (Manahan, 2006)

Dentro de las características físicas de un suelo, la resistencia que tiene a formar agregados ocupa un papel muy importante ya que de ella dependen muchos factores como la tendencia a encostrarse y a compactarse, y con ello la pérdida de la porosidad total y la capacidad de almacenar agua. La estabilidad estructural depende principalmente del sistema de labranza (Gutiérrez *et al.*, 1999), pero también tienen gran influencia los cultivos (Royo *et al.*, 1998).

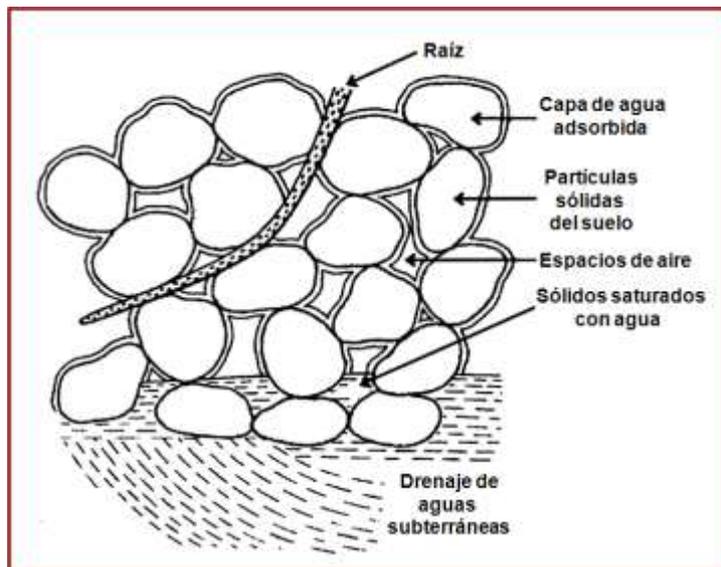


Figura 2. Fases del suelo (Manahan, 2006)

Resulta importante evaluar, para suelos locales, dedicados al cultivo de la avena, en qué medida la densificación podría afectar el crecimiento de las plantas y la producción de forraje, en este caso de la avena.

La densidad aparente (DA), es uno de los parámetros más utilizados para medir el grado de compactación del suelo. Expresa la relación entre la masa de partículas del suelo después que han sido secadas y el volumen total del suelo, incluye las partículas y los poros conjunto (Gurovich, 1997). Donoso (1992) menciona que la densidad aparente es un buen indicador de ciertas características del suelo, al saber porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración. Los niveles ideales para los cultivos de cereales están por debajo de 1.3 Mg m^{-3} , variando principalmente con la textura.

Otra de las características de los suelos la constituye la disolución acuosa (fase líquida de los suelos) en la que se encuentra una variada gama de iones, cuya concentración es variable, dependiendo del tipo de suelo y de la época del año. Los iones más abundantes, por este orden, son Cl^- , SO_4^{2-} y Ca^{2+} , que se encuentran en concentraciones del orden de 10-1000 ppm.

También son relativamente abundantes los iones Mg^{2+} , H_3SiO_4^- , K^+ , Na^+ y Mn^{2+} , los cuales se encuentran a concentraciones inferiores a 10 ppm. Finalmente, también cabe señalar la presencia de otros iones minoritarios con respecto a los intercambiables, como Al^{3+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , H_2PO_4^- , etc., cuya concentración es inferior a 0.1 ppm, pero que son fundamentales para el desarrollo y crecimiento de las plantas.

Según su comportamiento en el medio edáfico, los iones en disolución del suelo pueden clasificarse en varios grupos, tabla 1.

Tabla 1. Tipos de iones presentes en la disolución acuosa del suelo
 (El orden en que están expresados indica su abundancia de mayor a menor) (Castellano *et al.*, 2000)

Cationes	Aniones
Intercambiables: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Al^{3+}	Solubles: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^-
Metálicos de transición: Mn^{2+} , Cu^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Ti^{4+} , Ni^{2+}	Poco solubles: H_3SiO_4^- , H_2PO_4^- , H_2BO_3^- , MoO_4^{2-}
Tóxicos: Al^{3+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} , Be^{2+}	Tóxicos: AsO_4^{3-} , CrO_4^{2-}

Los cationes intercambiables interaccionan con las partículas minerales y la materia orgánica, produciéndose un intercambio iónico entre estos materiales y la disolución del suelo (figura 3). El K es el tercer elemento nutriente, después del N (NO_3^- , NH_4^+) y el P (H_2PO_4^-). El N^+ es abundante en suelos alcalinos, mientras que el Al^{3+} libre en disolución se encuentra en suelos ácidos, por debajo de pH 5.5. Los iones metálicos de transición suelen formar hidróxidos insolubles. Tan solo los iones Cu^{2+} y Zn^{2+} son solubles en la mayoría de los suelos, formando complejos con la materia orgánica. De los cationes tóxicos, el Al^{3+} es muy tóxico para los vegetales y el resto presenta toxicidad hacia los animales, ya que de estos últimos ninguno tiene función en el metabolismo animal (Jackson, 1982).

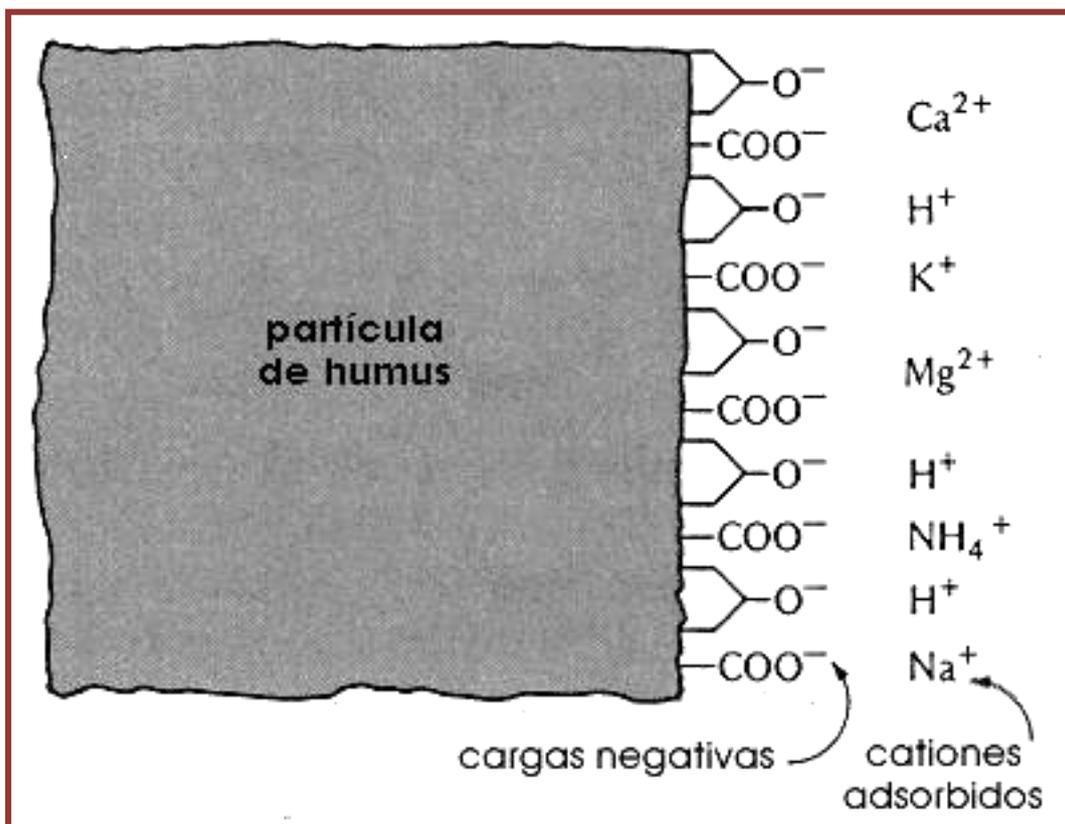


Figura 3. Esquema representativo de los procesos de intercambio iónico donde se aprecian las disociaciones de los grupos OH^- y grupos COOH (Castellano *et al.*, 2000)

Los aniones solubles presentan una gran tendencia a la lixiviación y se suelen presentar a concentraciones bajas, excepto en suelos muy salinos en los que los iones Cl^- y HCO_3^- son abundantes. Los iones NO_3^- y SO_4^{2-} son nutrientes esenciales para los vegetales. Los aniones poco solubles se caracterizan por poseer en su estructura un ión metálico de tamaño reducido, lo cual es la causa de que se rodee de muchos átomos de O_2 y de que el agregado sea voluminoso. Estos aniones tienden a formar sales insolubles con diversos cationes, como por ejemplo, Fe^{3+} , Al^{3+} , Ca^{2+} y Mg^{2+} . De este grupo el ion H_2SiO_4^- y el MoO_4^{2-} son los más solubles a valores de pH altos (mayor a 8.5), mientras que el H_2PO_4^- lo es a pH ácido (4.5) (Castellano *et al.*, 2000).

II.1.1 Toma de muestra

Las muestras fueron tomadas de parcelas del municipio de Apan, Hidalgo y fueron mezcladas perfectamente para obtener una sola muestra (Figura 4).



Figura 4. Sitios de muestreo en el municipio de Apan, Hidalgo

Dentro del área de interés, es muy importante identificar los sectores que a simple vista presentan condiciones de paisaje (pendiente, exposición, drenaje, cambios de vegetación, etc.) o antecedentes de uso diferentes, que puedan definir áreas con características distintas a sus aledañas. Estos sectores deben ser muestreados en forma independiente, evitando siempre las áreas con posible influencia de caminos, alambrados, construcciones, deyecciones, entarcadas, sendas, cuevas, etc. Esto incluye las superficies con problemas de localizados (manchones) que, si son poco representativas del área, deben ser excluidas. Para muestrear es necesario definir antes las medidas de manejo. Se recomienda tomar siempre las muestras en la misma época del año, para poder realizar comparaciones en el tiempo. Se deben dejar pasar al menos 48 horas después de lluvia o riego intenso (Buduba, 2004).

Si el objetivo es caracterizar el suelo con un análisis completo, el muestreo generalmente se realiza en cada ciclo de rotación (3-5 años). En cambio, para caracterizar las "propiedades

dinámicas”, se debe realizar 20-25 días antes de la siembra o de cada fertilización y en cultivos intensivos (invernáculo, viveros), y debe ser en todos los años (Buduba, 2004).

La obtención de una muestra compuesta (mezcla de varias sub-muestras), asegura la representatividad de las propiedades edáficas de un área homogénea. Salvo para casos especiales (densidad aparente, trabajos científicos, cartografía de suelos, etc.), la siguiente modalidad de muestreo es la más conveniente e implica conocer diferentes pautas (Buduba, 2004):

- Numero de sub-muestras
- Selección de los puntos de extracción de cada sub-muestra como se muestra en la figura 5.
- Profundidad de muestreo (30 cm)
- Extracción de las sub-muestras
- Cuarteo y obtención de la muestra compuesta
- Embolsado e identificación de la muestra compuesta
- Conservación y transporte de las muestras compuestas

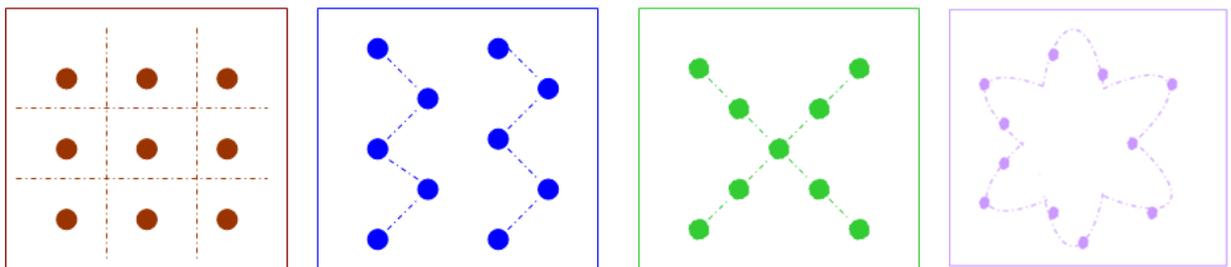


Figura 5. Diferentes patrones de recorrido para extraer sub-muestras en áreas homogéneas (Buduba, 2004)

II.2. Propiedades físicas del suelo

II.2.1. Estructura del suelo

Las partículas del suelo logran reunirse en un ped, por medio de fuerzas de *Van der Waals* y de *Coulomb*, agentes cementales como son los óxidos de hierro y de aluminio, compuestos de calcio y el humus.

La labranza sistemática destruye la estructura de un suelo porque reduce el porcentaje de agregados mayores de 2 mm a mas o menos la mitad, incrementando los agregados más pequeños que pueden obstruir los poros grandes y disminuir la infiltración (Arias, 2007). En la Figura 6 se puede apreciar los diferentes tipos de estructura que puede tener el suelo.

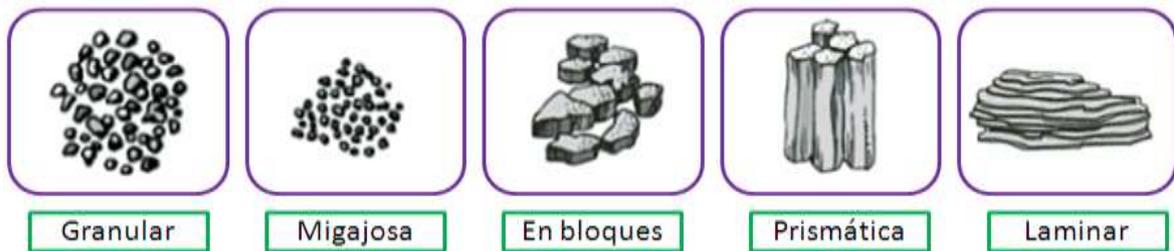


Figura 6. Representación de los tipos de estructura de los suelos (Arias, 2007)

II.2.2. Densidad del suelo

De acuerdo con su composición, la densidad del suelo es la masa del material sólido (partículas) sin incluir el espacio poroso dentro en un volumen definido (Figura 7) y la densidad aparente que es la misma definición anterior pero esta también incluye el espacio poroso (Arias, 2007).

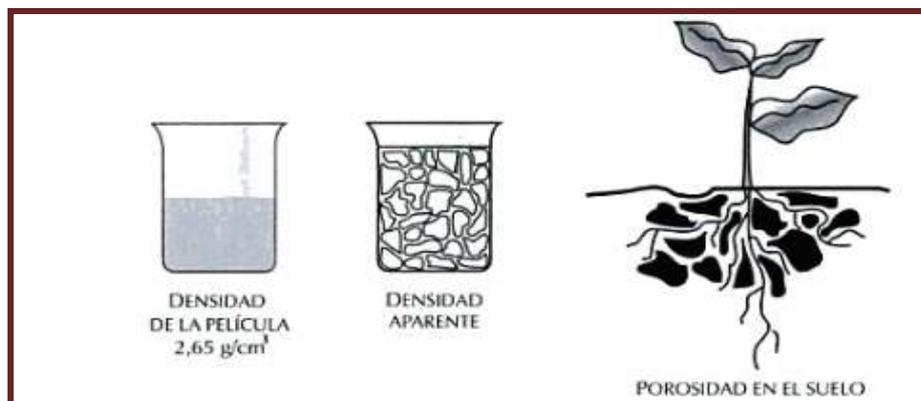


Figura 7. Diagrama de la densidad y porosidad del suelo (Arias, 2007)

El suelo está estructurado en agregados que pueden tener diferentes formas, tamaños y resistencia a ser destruidos; la unión de todos ellos forman espacios de diferentes tamaños llamados poros. Los de mayor tamaño se llaman macroporos ($\varnothing > 1\text{mm}$) y por ellos circula el aire que proporciona el oxígeno a las raíces. Los poros de menor tamaño ($\varnothing < 1\text{mm}$) se llaman microporos y actúan como capilares que van a conservar el agua dentro del suelo. Tanto la densidad del suelo como la densidad aparente se expresa en mega gramos por metro cúbico (Mg/m^3). La densidad aparente varía desde 0.1 Mg/m^3 o menos en suelos orgánicos hasta 1.6 Mg/m^3 en suelos minerales (Arias, 2007) como puede observarse en la Tabla 2.

Tabla 2. Relación de valores de la densidad aparente relacionados con el espacio poroso y la parte sólida de diferentes tipos de suelos (Van Loon et Daffy, 2005).

De espacio de sólidos	Densidad aparente (Mg/m^3)	% de espacio poroso	% de sólidos del suelo
Orgánico	0.1	75	25
Arcilla	1.1	58	42
Franco	1.4	47	53
Arena	1.8	40	60
Compactado	2.0	30	70

II.2.3. Textura

La textura es la principal propiedad física de suelo y representa la proporción de los componentes del suelo según su tamaño (Figura 8). Permite predecir ciertas características del

suelo, como es la capacidad de retención de agua, su permeabilidad y su fertilidad (Van Loon *et Daffy*, 2005).

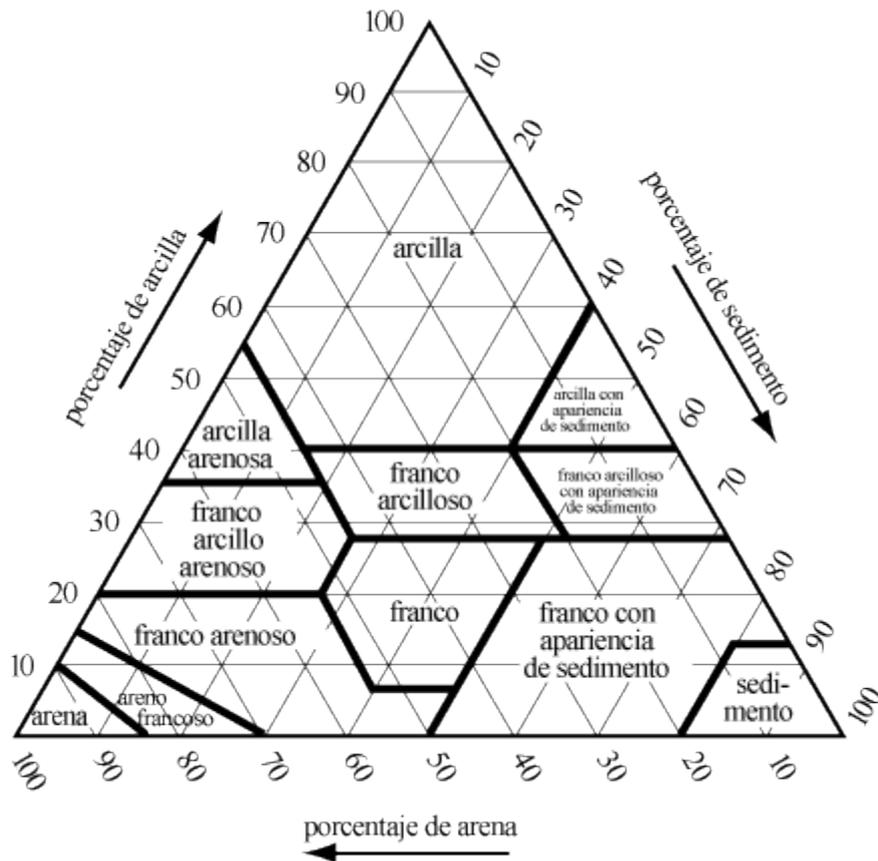


Figura 8. Triángulo de texturas (De Santa Olalla, 2005)

II.3. Propiedades químicas del suelo

II.3.1. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Los componentes de suelos y sedimentos tienen la habilidad de adsorber electrostáticamente iones positivos en su superficie, el 99% de los cationes se encuentran unidos a partículas de arcillas y a materia orgánica; el 1% está en solución. La CIC es una medida cuantitativa de la capacidad de los suelos de interactuar con los cationes, cuando se tiene una CIC grande, se puede esperar que el suelo sea más fértil (Tabla 3). Los iones H⁺ contribuyen apreciablemente a la CIC, ya que en suelos ácidos, una gran proporción de los sitios de intercambio catiónico está

ocupada por iones H^+ , mientras que en los neutros o alcalinos su contribución es despreciable (Figura 9). Cuando estos iones saturan los sitios de intercambio, la capacidad del suelo de suministrar nutrientes del suelo disminuye (Van Loon *et Daffy*, 2005).

Tabla 3. Capacidad de intercambio catiónico (NOM-021-SEMARNAT-2000)

Clase	CIC (Cmol (+) Kg ⁻¹)
Muy alta	> 40
Alta	25 – 40
Media	15 – 25
Baja	5 – 15
Muy baja	< 5

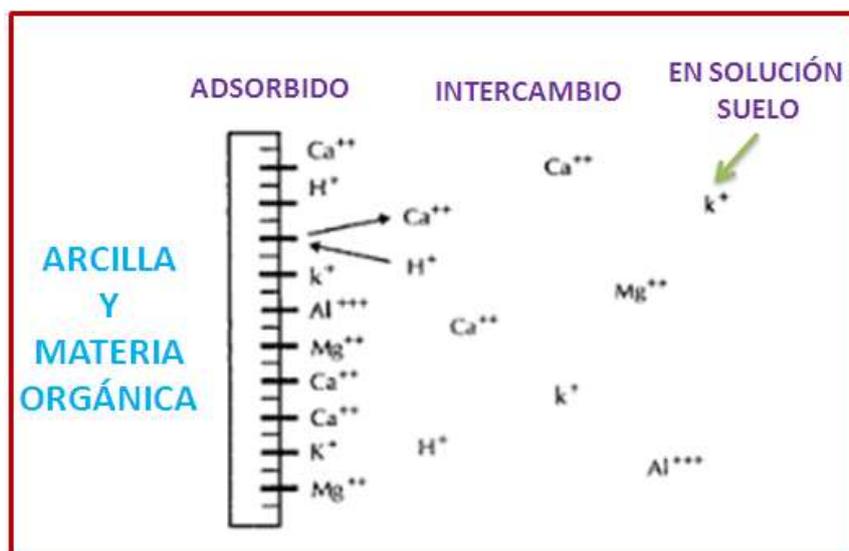


Figura 9. Diagrama de la capacidad de intercambio catiónico (Arias, 2007)

II.3.2. pH

El pH del suelo es una medida de la concentración de los iones hidrógeno (H^+) en la disolución del suelo (expresa el grado de acidez o alcalinidad). Según los valores del pH, se pueden considerar como: muy ácidos (pH < 5.5); ácidos (pH comprendido entre 5.5 - 6.5); neutros (pH entre 6.5 - 7.5); alcalinos (pH entre 7.5 - 8.5); y muy alcalinos (pH > 8.5). (Parra, 2003).

II.4. Macronutrientes y micronutrientes del suelo.

Una de las funciones más importantes del suelo en el soporte del crecimiento de la planta es proporcionar nutrientes esenciales: macronutrientes y micronutrientes (Manahan, 2007).

Los macronutrientes son aquellos elementos que existen a niveles importantes en la biomasa y en los fluidos de la planta. Los micronutrientes son elementos que son esenciales solo a concentraciones muy bajas y generalmente son requeridos para el funcionamiento de enzimas esenciales. Los elementos generalmente reconocidos como macronutrientes esenciales para las plantas son: C, H₂, O₂, N₂, P, K, Ca, Mg y S. Los tres primeros se obtienen de la atmósfera, mientras que los restantes deben obtenerse del suelo. De estos últimos, el N, el P y el K son los que más probablemente puedan ser deficitarios y normalmente se agregan al suelo como fertilizantes (Manahan, 2007).

Los suelos deficientes de Ca son relativamente raros. La aplicación de cal (encalado), es un proceso usado para tratar los suelos ácidos, mantiene un suministro de calcio más que adecuado para las plantas (Manahan, 2007).

El B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo (para la fijación del nitrógeno), y el Zn son considerados como micronutrientes esenciales de las plantas. Las plantas solo necesitan estos elementos a niveles muy bajos y frecuentemente son tóxicos a niveles más altos (Manahan, 2007).

II.5. Indicadores e índices de calidad de suelos

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y el Desarrollo Río '92, marcó un hito muy especial al establecer la necesidad de desarrollar y aplicar diferentes metodologías para determinar el estado del ambiente y monitorear los cambios ocurridos a nivel local, regional nacional y global. La determinación de estos cambios podría ayudar a realizar una mejor evaluación de las dimensiones de los diferentes problemas ambientales, identificar y evaluar los resultados de la aplicación de las convenciones internacionales y los programas de acción, así como también, orientar las políticas nacionales.

Una amplia gama de metodologías se están utilizando para evaluar el impacto de la actividad agropecuaria sobre los recursos naturales y en especial, el cambio de uso y manejo de suelos (Archer *et al.*, 2002; Breuer *et al.*, 2006; Hati *et al.*, 2007; Cantú *et al.*, 2009).

El desarrollo de diversas metodologías ha determinado el uso generalizado de indicadores e índices para la evaluación de la calidad ambiental, calidad de suelos, sustentabilidad, desarrollo sustentable, riesgo, vulnerabilidad, planificación territorial, entre otros. El antecedente más importante surgió de la Organization for Economic Cooperation and Development (OECD, 1991) cuando publicó un set preliminar de indicadores ambientales. Posteriormente, otras organizaciones han desarrollado programas donde se establecieron listas de indicadores para evaluar la calidad ambiental, tales como, FAO, Banco Mundial, y los programas de Naciones Unidas para el Desarrollo y para el Medio Ambiente (UNDP y UNEP, por sus siglas en Inglés, respectivamente).

Blum y Santelises (1994) describieron el concepto de sustentabilidad y resiliencia del suelo basado en seis funciones ecológicas y humanas:

- Suelo como productor de biomasa;
- Suelo como reactor con filtros;
- Suelo como buffer, como transformador de materia para proteger el ambiente, el agua subterránea y la cadena de alimentos de la contaminación;
- Suelo como hábitat biológico y reserva genética;
- Suelo como medio físico;
- Suelo como fuente de recursos y de herencia cultural.

Estos conceptos y los sugeridos por Warkentin (1996) fueron las bases a partir de las cuales la Soil Science Society of America (SSSA) estableció el concepto de calidad del suelo (Karlen *et al.*, 1996). Doran *et al.* (1994, 1996) y Doran *et al.* (1996) establecieron indicadores cuantitativos de calidad del suelo a partir de estos conceptos.

Un indicador es una variable que simplifica información relevante haciendo que un fenómeno de interés se haga perceptible, también cuantifica, mide y comunica, en forma comprensible, información relevante (Villareal, 2010). Los indicadores deben ser preferiblemente variables cuantitativas, aunque pueden ser cualitativas, nominales, de rango u ordinales, especialmente cuando no hay disponibilidad de información cuantitativa, cuando el atributo no es cuantificable, o cuando los costos para cuantificar son demasiado elevados (Volveré *et* Amésquita, 2009). Las principales funciones de los indicadores son: evaluar condiciones o tendencias, comparar transversalmente sitios o situaciones, para evaluar metas y objetivos, proveer información preventiva, anticipar condiciones y tendencias futuras.

Los indicadores deben ser:

- Limitados en número y manejables por diversos tipos de usuarios.
- Sencillos, fáciles de medir y tener un alto grado de agregación, es decir, deben ser propiedades que resuman otras cualidades o propiedades
- Interdisciplinarios; en lo posible deberán contemplar la mayor diversidad de situaciones por lo tanto incluir todo tipo de propiedades de los suelos (químicas, físicas, biológicas, etc.)
- Tener una variación en el tiempo; de modo que sea posible realizar un seguimiento de las mismas y asimismo, no deberán poseer una sensibilidad alta a los cambios climáticos y/o ambientales, pero la suficiente como para detectar los cambios producidos por el uso y manejo de los recursos (Gallopín, 1995; Doran *et* Parkin, 1996; Doran *et* Zeiss, 2000; Volveré *et* Amésquita, 2009).

Segnestam (2002), a partir de la experiencia realizada por el Banco Mundial, señaló la importancia de establecer: la línea de base o de inicio de una actividad que puede impactar positiva o negativamente sobre el ambiente; en umbrales para controlar o hacer el seguimiento de impactos negativos que no deben exceder un predeterminado umbral y además, en objetivos o metas que permitan evaluar si el impacto positivo de una respuesta es suficientemente largo.

Se han desarrollado listas de indicadores de uso “universal” pensando en todas las situaciones posibles y todos los suelos posibles (Doran *et* Parkin, 1994, 1996). Por otra parte, se han

presentado listas pensadas para situaciones regionales o locales (Brejda *et al.*, 2000; Cantú *et al.*, 2002; Lilburne *et al.*, 2004).

II.6. Cereales

Los cereales constituyen un conjunto de plantas de gran importancia para la humanidad, ya que son el alimento que contribuye con el aporte energético como son los numerosos nutrientes para el organismo; por esto, los cereales han sido, son y seguirán siendo el principal sustento del hombre (Serna, 2009).

Los cereales están constituidos principalmente por carbohidratos, contienen cantidades considerables de proteínas y bajos contenidos de grasas insaturadas. Se estima que aportan más del 50% de la energía total consumida y constituyen una de las principales fuentes de alimentación para la humanidad (Davy *et al.*, 2002). Los cereales aportan entre 300-400 kcal por cada 100 g, 10-12 g de proteínas, 60-80 g de carbohidratos disponibles entre azúcares y almidones y 10-15 g de fibra dietética. El principal carbohidrato de los cereales es el almidón seguido de la celulosa y los azúcares. Estos son los responsables de la estabilidad de los mismos ya que dependiendo de sus velocidades de degradación se reportarían tiempos de estabilidad de dichos productos (Davy *et al.*, 2002).

Los países subdesarrollados dependen aún más de los nutrientes proporcionados por los cereales, ya que constituyen una excelente fuente de energía requerida para el crecimiento y el desarrollo de los niños. La avena por sus cualidades energéticas y nutritivas es uno de los cereales más completos e importantes del mundo ya que ocupa el sexto lugar en la producción de grano después del trigo, maíz, arroz, cebada y sorgo. (Murphy *et Hoffman*, 1992).

II.7. Avena

La avena es un cereal procedente de Asia Central, es una planta herbácea anual que pertenece a la familia *Gramineae*, Género *Avena* y Especie *Sativa*. En la figura 10 se puede apreciar el esquema de un cariopse de este cereal, mostrando el endosperma, como la parte más abundante o voluminosa, el embrión y diversas estructuras embrionales: el escutelo o escudete,

la plúmula, la coleorriza, y el nudo cotiledonar. Rodeando a todo el endosperma se aprecia la capa de aleurona y al otro extremo del embrión, el cepillo (Delcour y Hosenev, 2000).

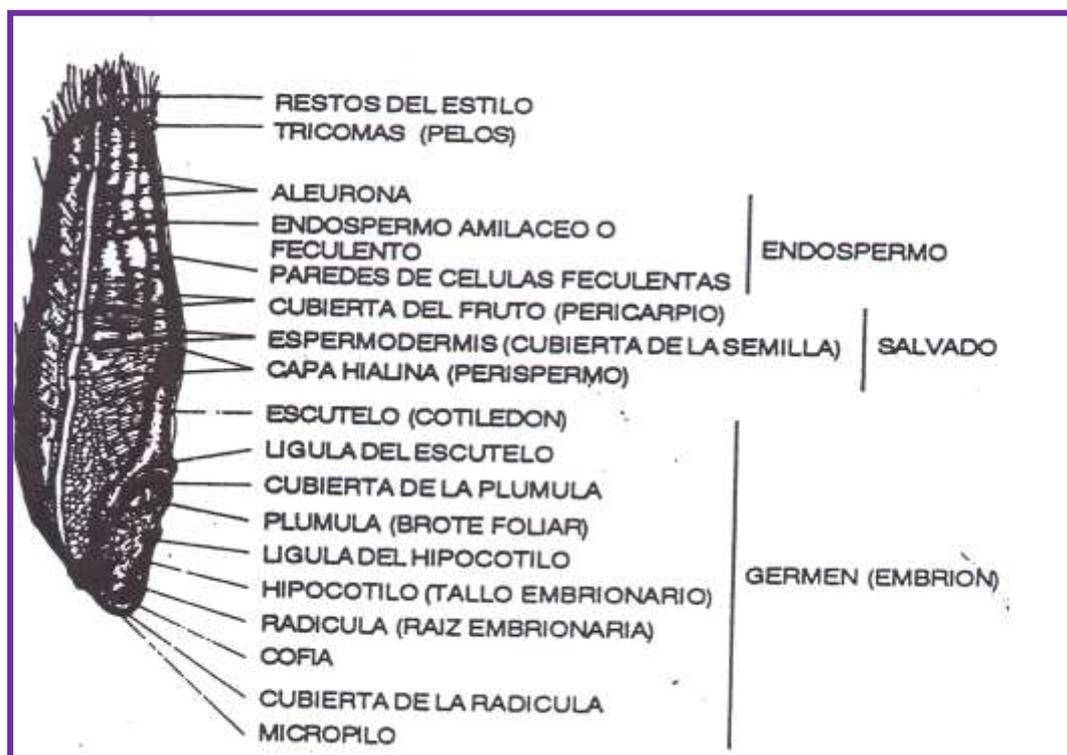


Figura 10. Esquema de un cariopse de avena (Delcour y Hosenev, 2000)

II.8. Morfología y taxonomía

Raíces: Posee un sistema radicular potente, con raíces más abundantes y profundas que las de los demás cereales (Agri Nova Science, 2009).

Tallos: Los tallos son gruesos y rectos, pero con poca resistencia al vuelco; tiene, en cambio, un buen valor forrajero. La longitud de éstos puede variar de medio metro hasta metro y medio. Están formados por varios entrenudos que terminan en gruesos nudos (Agri Nova Science, 2009).

Hojas: Las hojas son planas y alargadas. En la unión del limbo y el tallo tienen una lígula, pero no existen estípulas. La lígula tiene forma oval y color blanquecino; su borde libre es dentado. El limbo de la hoja es estrecho y largo, de color verde más o menos oscuro; es áspero al tacto y en la base lleva numerosos pelos. Los nervios de la hoja son paralelos y bastante marcados (Agri Nova Science, 2009).

Flores: La inflorescencia es en panícula. Es un racimo de espiguillas de dos o tres flores, situadas sobre largos pedúnculos. La dehiscencia de las anteras se produce al tiempo de abrirse las flores. Sin embargo, existe cierta proporción de flores que abren sus glumas y glumillas antes de la maduración de estambres y pistilos, como consecuencia se producen degeneraciones de las variedades seleccionadas (Agri Nova Science, 2009).

Fruto: El fruto es en cariósido, con las glumillas adheridas (Agri Nova Science, 2009).

El grano de avena está compuesto principalmente por 3% de embrión, 30% de salvado y 67% de endospermo harinoso, aunque estas proporciones pueden oscilar notablemente entre las diferentes variedades y condiciones de cultivo.

II.9. Composición nutricional de la avena (<http://www.zonadiet.com/alimentacion/l-avena.htm>, 2009)

Proteínas:

Cuanto más elevado es el número de aminoácidos esenciales presentes en un alimento, mayor es su valor biológico; y la avena contiene seis de los ocho aminoácidos imprescindibles para la síntesis correcta de proteínas que requiere el ser humano para regenerar tejidos y crear hormonas, lo cual es muy considerable si se compara con el trigo, que contiene sólo uno, o la cebada y el centeno, que no poseen ninguno.

Lípidos:

La avena es el cereal con mayor porcentaje de grasa vegetal. El 65 % es de ácidos grasos insaturados y el 35% de ácido linoleico. Cien gramos de copos de avena cubren un tercio de nuestras necesidades diarias de ácidos grasos esenciales.

Hidratos de Carbono:

Los hidratos de carbono que posee la avena son almidones de lenta absorción que proporcionan energía y ayudan a mantener los niveles estables de la glucosa, evitando la sensación de sueño que se presenta entre el desayuno y comida, debido a que el cerebro y los músculos cuentan con pocos azúcares para realizar sus funciones (hipoglucemia). También ayudan a soportar mejor la fatiga que se genera al someterse a estrés.

Vitaminas, minerales y oligoelementos:

Entre todos los cereales, la avena es el que más nutrientes aporta, vitaminas E, B 1, B 2, B3 y B6 además presenta grandes cantidades de calcio, hierro, zinc, fósforo, magnesio, potasio, cobre y sodio. Además de ser valiosa fuente de carbohidratos, vitaminas, minerales y proteínas, la avena ha demostrado gran utilidad para quienes sufren problemas digestivos, sobrepeso, diabetes o altos niveles de colesterol (<http://www.zonadiet.com/alimentacion/l-avena.htm>, 2009).

La tabla 4 muestra la cantidad de nutrientes contenidos por cada 100 gramos de avena. Esta es la composición química reportada recientemente (Serna, 2009). En esta misma tabla se puede apreciar la composición promedio de un cariósido de Avena perteneciente a la especie Avena sativa, referencia tomada de "El cultivo de avena" que se reporta en Info Agro. (<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/avena.htm>, 2009).

Fibra:

Además de estos componentes esenciales, la avena contiene otros elementos no tan importantes desde el punto de vista nutritivo, pero necesarios para el buen funcionamiento intestinal.

Se trata de sustancias insolubles que, ingeridas con la alimentación, no se absorben en el intestino. Sin embargo, estas sustancias resultan de una extraordinaria importancia para la buena digestión. Es lo que normalmente conocemos como 'fibra'. Las fibras vegetales aumentan el contenido del intestino, con lo cual ayuda a prevenir como a eliminar el estreñimiento.

Tabla 4. Composición química proximal de la avena según diferentes autores (Cantidad de nutrientes de avena por cada 100 g)

Autores	Proteína	Lípidos	Cenizas	Fibra cruda	Humedad	Carbohidratos
Serna 2009	17.1	6.4	3.2	11.3	-	62.0
Callejo 2002	22.4	9.8	3.8	3.9	-	64.0
Infoagro*	12.0 – 16.0	4.5 – 7.5	2.0 – 2.5	1.5 – 3.0	11.0 – 12.0	65.0 – 70.0

*: (<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/avena.htm>, 2009)

II.10. Importancia económica y distribución geográfica.

En la producción mundial de cereales la avena ocupa el sexto lugar, siendo el cereal de invierno de mayor importancia en los climas fríos del hemisferio norte. En la tabla 5 se señalan los principales países productores de avena; correspondiente al año 2001. En ella se puede apreciar que México se sitúa en el lugar 22 a nivel mundial, de aquí la importancia de estudiar este cereal.

No se reporta suficiente información acerca de las variedades que se cultivan de avena ni tampoco sobre cuales de ellas son las más comercializables para consumo u otros usos que pueda darse a la avena aparte de los ya conocidos (consumo humano y forraje).

Tabla 5. Producción de avena (El cultivo de avena Info Agro, 2001)

Principales países productores de avena	Producción año 2001 (en millones de toneladas)
Federación Rusa	6,135,000
Canadá	2,838,300
Estados Unidos	1,918,150
Finlandia	1,400,000
Australia	1,300,000
Alemania	1,131,000
China	1,050,000
Suecia	990,000
Ucrania	935,000
España	749,700
Reino Unido	680,000
Argentina	642,360
Rumania	520,000
Francia	462,000
Chile	344,527
Brasil	317,342
Kazajstán	253,500
Turquía	250,000
República Checa	150,000
Suiza	117,000
Irlanda	128,000
México	90,000

II.11. Variedad de avena

Los criterios a seguir en la elección de variedades son: color y calidad del grano, productividad, resistencia al encamado, enfermedades y frío. Estas características o criterios para elección de variedades resultan comunes para muchos cereales como el trigo, cebada, sorgo, entre otros. Siendo la temperatura el principal factor ambiental que determina el tipo de variedad.

A continuación se indican algunas peculiaridades distintivas de variedades de avena que se conocen:

- **Arareco:** Es una nueva variedad de avena con utilidad de doble propósito: forraje y grano, obtenida en el programa de mejoramiento genético de avena del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2007).
- **Blancanieves:** Es la variedad de avena blanca predominante en invierno, obtenida en el INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) de Francia, siendo muy clásica y muy difundida en Europa. Es bastante precoz, sensible al frío, resistente al encamado y con producción bastante regular y elevada. Es sensible a la plaga de la roya y resistente a la del carbón. El grano es de color blanco y con un alto peso específico (Agri Nova Sciene, 2009).
- **Cóndor:** Avena de primavera. Fue obtenida por primera vez en Holanda y es adecuada para siembras de primavera en tierras fértiles. Resiste el encamado, aunque es sensible al frío y muy sensible a la plaga de la roya amarilla. El grano es de color blanco (Agri Nova Sciene, 2009).
- **Cusarare:** Es una variedad de avena (*Avena sativa* L.) desarrollada en el Programa de Mejoramiento Genético de Avena del INIFAP (Salmerón Z., 2007).
- **Karma:** Es una variedad de avena (*Avena Sativa* L) que se cultiva en primavera, fue desarrollada por el Programa de Mejoramiento Genético de Avena del INIFAP. Su

crecimiento es erecto, presenta tallos huecos y moderadamente suaves aptos para su uso como forraje, es resistente a la roya del tallo (Espitia *et al.*, 1988).

- **Moyencourt:** Avena de primavera, con grano de color oscuro (negruzco) y elevado peso específico; fue obtenida por vez primera en Francia, siendo bastante precoz. Es poco resistente al frío y sensible a roya. Es también sensible al desgrane. Su tallo es de longitud media (Agri Nova Sciene, 2009).
- **Previsión:** Es una variedad obtenida por selección de una variedad Argentina. Es bastante precoz y con buena resistencia a la sequía. Tiene buena productividad, siendo el grano de color rojo (Agri Nova Sciene, 2009).

II.12. Usos de la avena

El cultivo de avena está representado fundamentalmente por dos especies: *Avena Sativa* L. y *Avena Bizantina*. La primera de ellas se utiliza principalmente para la obtención de grano, el cual puede destinarse a alimentación humana (avena machacada y harina), o a alimentación animal. La *Avena Bizantina*, en tanto, se utiliza fundamentalmente para la obtención de forraje.

La avena es un cereal que además de emplearse como forraje y en la industria cosmética (Bye, 1974., Davy *et al.*, 2002), presenta un consumo en franca expansión como alimento, ya sea a través del uso tradicional (cereales para desayuno, derivados farináceos) o de su inclusión en productos a los que confiere el carácter de "funcionales", bajo formas que lindan con la dietoterapia. En este sentido, se le incorpora a diversos preparados comerciales que han ganado el mercado a nivel mundial, no sólo como fitonutriente, sino por la adjudicación de algunas propiedades tales como hipocolesterolemizante, preventiva de cardiopatías, normalizadora de estados fisiológicos alterados (estrés, disminución de la libido, disminución de la potencia sexual masculina, ansiedad, etc.). La actividad en la prevención de cardiopatías es reconocida por la FDA (Food and Drug Administration) que, en 1997, autorizó a los productores de alimentos a consignar en los rótulos de los mismos que "las dietas con alto contenido de fibra soluble

procedente del grano entero de avena puede reducir el riesgo de las enfermedades cardíacas" (FDA, 1997). Es buena para animales de trabajo y reproductores por su alto contenido en vitamina E. En menor escala la avena se emplea en productos dietéticos, se mezcla con harina de otros cereales en la fabricación de pan, así como en la fabricación de alcohol y bebidas.

III. OBJETIVOS

III.1. Objetivo general

- Llevar a cabo la descripción fisicoquímica de suelos y avena y evaluar la composición fisicoquímica de la avena *sativa* variedad Karma cultivada en el municipio de Apan, Hidalgo mediante el uso de diferentes técnicas analíticas de las normativas de alimentos para estimar sus usos potenciales en la industria alimentaria.

III.2. Objetivos específicos

- Determinación de propiedades físicas y químicas de los suelos donde se cultiva la avena en el Municipio de Apan, Hidalgo
- Determinar los indicadores de calidad del suelo
- Analizar físicamente las muestras de avena variedad Karma
- Determinar por análisis proximal la calidad de la avena variedad karma por métodos de la AOAC (Association of Official Agricultural Chemists)
- Determinar la cantidad de metales seleccionados que se encuentren en suelos y su posible relación con el cultivo de avena variedad Karma
- Evaluar la morfología y determinar el tamaño y la distribución de partículas que conforman la avena variedad Karma

IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

IV. 1. Muestreo y cálculo del tamaño de la muestra de suelo

Las muestras fueron tomadas de dos suelos de cultivo de avena en el municipio de Apan, Hidalgo. Para definir el tamaño de las muestras se realizó el cálculo de la siguiente manera (Tamayo y Tamayo, 1998):

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q \times N}{N \times e^2 \times Z^2 \times p \times q}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra a tomar.

q = probabilidad en contra.

Z = nivel de confianza.

N = universo o población

p = probabilidad a favor.

e = error de estimación.

Considerando un nivel de confianza del 95% y que el valor del universo (N) que se expresa por cada Ha es equivalente a 1Kg de suelo a muestrear, los datos iniciales para el universo son:

n = ?

q = 0.30

Z = 95

N = 16 564.62 Kg

p = 0.70

e = 5% = 0.05

IV.2. Análisis físicos del suelo

IV.2.1. Secado y tamizado de las muestras

Para el secado se colocaron las muestras de suelos a una temperatura de 95°C en un horno de secado durante 4 horas, una vez secas las muestras se hicieron pasar por tamices que permitieran seleccionar únicamente las partículas con tamaño de diámetro menor a 2 mm. Ya que con este tamaño de superficie se puede detectar casi en su totalidad las reacciones que ocurren en el suelo (Primo-Yúfera, 1973).

IV.2.2. Determinación de la textura

Se realizó con base a lo establecido en el método de Bouyoucos y la NOM-021-SEMARNAT-2000. Los cálculos obtenidos se llevaron al triángulo de clasificación de los suelos según textura (EPA, 1998).

IV.2.3. Capacidad de campo

Se determinó midiendo la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje.

IV.3. Análisis químicos del suelo

IV.3.1. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Se realizó de acuerdo a lo establecido en el método AS-12 con acetato de amonio de la NOM-021-SEMARNAT-2000.

IV.3.2. pH y potencial redox (Eh)

Se realizaron según lo establecido en la NOM 021 RECNAT 2000. Partiendo del extracto de saturación (AS-16) y considerando la clasificación establecida por EPA (Environmental Protection Agency: Agencia de Protección del Medio Ambiente) (1998). Para la medición del pH se utilizó un potenciómetro pH-metro Conductronic, con un electrodo combinado de vidrio/Ag/AgCl. Para la clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH se utiliza el criterio que se resume en la tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de suelos según el pH (Boulding, 1995)

Clasificación	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

La medida del potencial redox en medios naturales determina la capacidad de óxido-reducción, causada directamente por las condiciones químicas de éste, que muy a menudo son inducidas por actividades microbiológicas (por ejemplo, bacterias sulfato-reductoras y ferrobacterias). La medición requiere un equipo sencillo, pero debe ser capaz de proporcionar las condiciones en que se encuentra el medio natural, así como el efecto de los contaminantes. Para la medición se utilizó un electrodo de Pt y se siguió la metodología usada para la medición del pH tomando como parámetros los valores de la tabla 7.

Tabla 7. Parámetros de potencial Redox (Boulding. 1995)

Clasificación	mV
Altamente oxidante	> + 400
Intermedio	+400 a -100
Altamente reductor	< -100

IV.3.3. Potencial zeta (pZ)

Un punto de particular interés es el potencial donde se unen la capa difusa y la capa de Stern de un sistema coloidal. Este potencial es conocido como el potencial zeta (pZ), el cual es importante porque puede ser medido de una manera muy simple, mientras que la carga de la superficie y su potencial no pueden medirse. El potencial zeta puede ser una manera efectiva de controlar el comportamiento del coloide puesto que indica cambios en el potencial de la superficie y en las fuerzas de repulsión entre los coloides. Esto es aplicable a los extractos de saturación de suelos, de esta manera es factible estimar cuan estable es este extracto conteniendo las fracciones solubles de las sales del suelo (Malvern, 2004). Varios métodos pueden ser usados para este propósito, tales como cambios en la atmósfera iónica, el pH o agregando compuestos activos

para afectar directamente la carga del coloide. En cada caso la medida del potencial zeta (pZ) indicará el efecto de la alteración, principalmente en su estabilidad.

IV.3.4. Determinación de materia orgánica

El procedimiento para la determinación de materia orgánica se realizó bajo el método AS-07 de Walkley y Black, establecido en la NOM-021- SEMARNAT-2000. Los valores de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica en los suelos minerales y volcánicos se presenta en la tabla 8:

Tabla 8. Clasificación de suelos en base a los contenidos de materia orgánica según sean suelos volcánicos o no volcánicos (Boulding, 1995)

Clasificación	Materia orgánica (%)	
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	< 4.0	< 0.5
Bajo	4.1 – 6.0	0.6 – 1.5
Medio	6.1 – 10.9	1.6 – 3.5
Alto	11.0 – 16	3.6 - 6.0
Muy alto	> 16.1	> 6.0

En este método también puede ser utilizado otro factor para convertir la determinación de carbono orgánico en valores de MO. Este factor también puede variar de acuerdo al tipo de suelo. Algunos trabajos han considerado un factor 2 (Buduba, 2006), basado en la suposición de que el carbono orgánico representa el 50% de la MO (Scheffer *et* Schachtschabel, 1992). A su vez, distintos autores sugieren un factor cercano a 2 para horizontes superficiales (Carreira, 2005). Distintas interferencias pueden afectar la cuantificación de MO por el método del permanganato y el método de Walkley-Black, por ejemplo, presencia de iones cloruro o ferroso y

óxidos de manganeso. A pesar de estas dificultades ambos métodos son ampliamente utilizados porque requieren un equipamiento mínimo, pueden adaptarse para la manipulación de gran número de muestras y no son muy costosos (Rosell *et al.*, 2001).

Las propiedades de la MO del suelo son influenciadas también por el clima, la topografía, la vegetación y el tiempo (Rosell *et al.*, 2001). Dadas las características de los métodos analíticos es aceptable que la diferencia en los resultados de MO obtenidos difieran en función de los tipos de suelo y vegetación (Brye y Slaton, 2003; De Vos *et al.*, 2005; Lettens *et al.*, 2007).

IV.3.4. Cenizas

Esta técnica se realizó mediante el uso de una mufla capaz de mantener temperaturas de 500 a 600 °C, el agua y los vapores son volatilizados y la materia orgánica es quemada en presencia de oxígeno en aire a CO₂ y óxidos de N₂

IV.4. Indicadores de calidad de suelos

Se proponen, siguiendo los criterios establecidos por otros autores (Breuer *et al.*, 2006; Hati *et al.*, 2007; Cantú *et al.*, 2009) aplicar como indicadores para evaluaciones rápidas de calidad de los suelos los siguientes parámetros:

- pH
- Carbono orgánico
- Densidad aparente
- Potencial Zeta pZ

Otros trabajos publicados (Rodríguez *et al.*, 2009) refieren la inclusión de otros parámetros como la respiración de los suelos y los contenidos de fósforos. En el presente estudio se tuvo en consideración la inclusión del potencial Zeta (pZ), no reportado en las bibliografías consultadas.

Para realizar la evaluación de la calidad de los suelos en estudio, teniendo en cuenta el número de indicadores mínimos que se sugieren Cantú *et al.*, (2009), se han propuesto los indicadores e índices para los tres municipios que se observan en la tabla 9.

Tabla 9. Indicadores propuestos para evaluación de calidad de suelos (ICS) cebaderos, unidades de medida, e índices como valores máximos y mínimos definidos para los Municipios

Indicador	U.M.	ICS	
		Máx.	Mín.
pH	-	8.50	5.00
Carbono orgánico	%	6.00	1.00
Densidad aparente	g.cm ⁻³	1.50	1.05
pZ	mV	+30	-30

Para la obtención de un valor único de cada parámetro propuesto se realizó un promedio de acuerdo a la proporción que representa el área total estudiada. Posteriormente se normalizaron los indicadores utilizando una escala 0-1 que representan, la peor y mejor condición desde el punto de vista de la calidad, independientemente de los valores absolutos medidos para cada indicador y obtenidos como resultados experimentales.

Existen dos situaciones posibles (Cantú *et al.*, 2009): la primera es cuando el valor máximo del indicador ($I_{máx}$) corresponde a la mejor situación de calidad de suelo (Valor normalizado del indicador: $V_n = 1$) y es calculado por:

$$V_n = (I_m - I_{min}) / (I_{max} - I_{min})$$

La otra situación es cuando el valor I_{max} corresponde a la peor situación de calidad de suelo ($V_n = 0$) y se calcula:

$$V_n = 1 - (I_m - I_{min} / I_{max} - I_{min})$$

Donde:

V_n = valor normalizado, I_m = medida del indicador, I_{max} = valor máximo del indicador, I_{min} = valor mínimo del indicador.

Los valores máximos y mínimos fueron establecidos de diferentes formas para cada indicador. Para las condiciones óptimas, se tuvieron en cuenta umbrales de toxicidad o a partir de los valores de referencia para suelos reportados en las bibliografías (Breuer *et al.*, 2006; Cantú *et al.*, 2009), mientras que en otros se utilizaron criterios teóricos reportados para suelos dedicados al cultivo de cebada.

Para el Carbono orgánico por ejemplo, se consideró como mínimo, el requerimiento para cumplir con la condición de mólico (Soil Survey Staff, 2006) que se refiere a suelos oscuros con concentraciones superiores a los mínimos de Carbono orgánico ($\geq 0.6\%$ ó $\geq 1\%$ de materia orgánica) y suelos evolucionados (FAO, 1999); y como máximo el promedio de los valores reportados en suelo para el cultivo de cebada, según bibliografía (Hati *et al.*, 2007; Cantú *et al.*, 2009); se considera el mínimo en 1% y el máximo en 7%, lo cual obedece igualmente a la clasificación que indica Boulding (1995) para suelos no volcánicos.

La densidad aparente mínima corresponde al promedio de los valores que se reportan para suelos de uso agrícola para cultivo de cebada (Pulido *et al.*, 2009) y la densidad aparente máxima a los valores máximos medidos en la región.

Finalmente, se estableció un índice de calidad de suelos (ICS) promediando los valores de todos los indicadores.

Para la interpretación del ICS se utilizó una escala de transformación en cinco clases de calidad de suelo (de 1 a 5) (Cantú *et al.*, 2009). que se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Clases de calidad de suelos (Cantú *et al.*, 2009)

Índice de calidad de suelos	Escala	Clase
Muy alta calidad	0.80 – 1.00	1
Alta calidad	0.60 – 0.79	2
Moderada calidad	0.40 – 0.59	3
Baja calidad	0.20 – 0.39	4
Muy baja calidad	0.00 – 0.19	5

IV.5. Análisis físicos de la avena

Antes de la molienda, a las muestras de avena se les practicó los siguientes análisis físicos:

IV.5.1. Análisis sensorial y Temperatura

El análisis sensorial se llevó a cabo a través de una inspección visual con el objetivo de detectar alteraciones que puedan poner en riesgo la salud del analista, si hubiese presencia de hongos o infestación, se omite la detección de olor y se puede suspender el análisis e incinerar el grano. No debe percibirse olor de humedad, fermentación, acidez, rancidez, putrefacción, ni otros olores extraños. Se determinó la temperatura del grano en cinco zonas diferentes; si hay una diferencia de 5°C entre las mediciones, esto se deberá a que existe un desarrollo microbiano o una población de insectos.

IV.5.2. Impurezas y sanidad

Se realizó una separación manual de las impurezas encontradas. La determinación de sanidad consistió en identificar la presencia de insectos en sus fases de huevecillo, larva, pupa o adulto, tal como su identidad, el grano se considera infestado si se encuentran dos ó más insectos vivos en 0.5 Kg. de muestra, para lo cual se toma una nueva muestra. Esta determinación se realizó de acuerdo a la norma CODEX STAN 201-1995.

IV.5.3. Densidad

La determinación de la densidad de los granos de cereales es un parámetro de calidad muy importante. El método más utilizado es la determinación del peso hectolítrico o volumétrico, que se realiza de acuerdo con la metodología descrita por Beratto (2002). Los valores del peso hectolítrico o densidad están relacionados con la calidad del grano de cereal. Los granos densos son menos susceptibles al ataque por insectos.

- Peso Hectolitro (NMX-FF-043-SCFI-2003)
- Peso mil granos (Camacho et. al., 2001)
- Índice de flotación (Camacho et. al., 2001)

IV.5.5. Dureza

Dicha propiedad intrínseca se determina por el método de dureza por abrasión (Camacho et. al., 2001): Se toman 10 piezas de la muestra, se pesan y tallan 5 veces cada uno de los granos sobre tiras de papel de lija No. 100 de 3 x 23 cm. Al final se pesan los residuos no desgastados de los granos.

De manera adicional se determinó la densidad por peso de mil granos y el porcentaje de índice de flotación.

IV.6. Análisis químico de la avena

Se llevo a cabo de acuerdo a los métodos oficiales de la AACC (2002):

- Humedad (44.15A).
- Cenizas (08.01).
- Proteína: Método Kjeldahl (46.10).
- Grasas: Método Soxhlet.

-
- Fibra cruda (método gravimétrico)
 - Carbohidratos: se determinan por diferencia de pesos, restándole a 100% La suma de los demás nutrientes.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V.1. Análisis de suelo.

En el siguiente apartado se muestran los resultados de los análisis físicos y químicos realizados al suelo ubicado en el municipio de Apan, Hidalgo.

V.1.1. Análisis físicos.

Como se indicó en la metodología, a la muestra de suelo se les practicaron análisis físicos. En la tabla 11 y 12 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 11. Resultados de potenciales y tipo de suelo

Muestra	pH	Eh (mV)	pZ (mV)	% Humedad	%arcilla	%arena	%limo
1	6.85	-30.50	-20.24	0.383	2.005	79.880	18.115
2	6.88	-31.15	-18.16	0.325	2.004	79.880	18.116
3	7.20	-34.60	-17.5	0.367	2.004	79.910	18.086
Media	6.98	-32.08	-18.63	0.36	2.004	79.89	18.106
Desv Estan	0.158	1.799	1.168	0.025	0.0005	0.0141	0.0139
% CV	2.27	5.61	-6.27	6.87	0.02	0.02	0.08
					Franco-arenoso		

Cabe destacar que es la primera ocasión en que se utilizan los valores de pZ para reportar características fisicoquímicas de un suelo dedicado a la producción de cereales en este caso el de avena, en este sentido se tomó como criterio de máximo y mínimo lo reportado en las bibliografía acerca de que a valores <-30 mV y $>+30$ mV, resultan estables las suspensiones coloidales de extractos de saturación de suelos (Prieto *et al.*, 2009). Se ha reportado (Unzueta *et al.*, 2007) que el incremento de la capacidad de infiltración del suelo frente al agua (generalmente por efecto temporal) así como el aumento en la estabilidad de los agregados frente al agua y a los agentes mecánicos, pueden estar regidas por una acción como la disminución del potencial Zeta (pZ) de las partículas del suelo.

Como se puede observar en la tabla 11, en promedio los suelos presentaron un pH que los clasifica como neutros según Boulding (1995); así mismo el potencial redox (Eh) permite considerarlos como reductores intermedios. En la misma tabla se puede observar que la humedad es muy baja lo cual resulta perjudicial para el cultivo de cereales, en este caso la avena, ya que tanto la avena como otros cereales necesita absorber entre 30-40% de humedad en la etapa de siembra para su germinación. Esta baja capacidad de retención de agua que presenta el suelo resulta como consecuencia de su tipo de textura ya que al ser un suelo franco-arenoso, su mayor componente es la arena y resulta un suelo muy permeable.

Tabla 12. Resultados de densidades y capacidades para los suelos del Municipio Apan

Muestra	DR (Mg m ⁻³)	DA (Mg m ⁻³)	CC (% peso)	%Cenizas	% Porosidad
1	2.205	1.224	8.33	67.00	44.49
2	2.271	1.245	8.35	72.55	45.18
3	2.230	1.250	8.31	75.04	43.95
Media	2.235	1.240	8.33	71.530	44.54
Desv Estan	0.027	0.011	0.032	3.361	0.50
% CV	1.21	0.96	0.38	4.70	1.12

DR: Densidad real; DA: Densidad aparente; CIC: Capacidad de intercambio catiónico; CC: Capacidad de campo

En la tabla 12 se observan los valores de densidad real (DR) y densidad aparente (DA). En promedio se observa una diferencia mayor de 1.0 Mg m⁻³ entre éstas, lo cual es indicativo de los altos contenidos de espacios porosos o espacios abiertos en el sistema suelos, lo que se corresponde con espacios intergránulos de arena. Se puede entender que resultan 1.13 veces por debajo de los niveles críticos que señalan algunos autores (Griffith *et al.* 1977), quienes señalan que estos valores se relacionan con potenciales variaciones, principalmente de la textura (Bowen 1981), y sugiere prestar más atención a las restricciones parciales en el crecimiento de las raíces que a su detención total. Todos los resultados presentaron porcentajes

de coeficiente de variabilidad aceptables, menores del 10%. Por otro lado el elevado contenido de cenizas favorece la disponibilidad de nutrientes.

La Capacidad de Campo (CC) es el contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo luego de saturación o de haber sido regado abundantemente y después dejado drenar libremente, evitando pérdida por evapotranspiración hasta que el Potencial Hídrico del suelo se estabilice (alrededor de 24 a 48 horas luego de la lluvia o riego).

Corresponde aproximadamente al contenido de agua que retiene una muestra de suelo saturada y luego sometida a una tensión de -0.33 bares. Aunque es dependiente del tipo de suelo que tan representativo de la realidad sea este método de laboratorio.

Se obtiene de la siguiente manera general:

$$w_{cc} = \frac{W_{SH} - W_{SS}}{W_{SS}}$$

Donde:

wcc: Contenido gravimétrico de humedad en el suelo.

WSH: Peso de la muestra de suelo húmedo sometido a -0,33 bares de tensión.

WSS: Peso de la muestra de suelo secada hasta peso constante a 105°C.

Generalmente se expresa como el contenido de agua en suelo de forma Gravimétrica de Humedad (w) en unidades de g_{H_2O}/g_{Suelo} seco o Volumétrica de Humedad (θ) en unidades de cm^3H_2O/cm^3Suelo o el porcentaje de peso. Si no se expresan las unidades se asume que se refiere al contenido gravimétrico.

En la práctica las muestras de suelo para obtener la Capacidad de Campo se toman en los diferentes Horizontes que el perfil de suelo posee. En este estudio se tomó solamente de la capa arable (0-30 cm de la superficie).

Los valores obtenidos de CC indican que son relativamente bajos debido a su tipo de textura y esto se corresponde con la baja capacidad de retención de humedad en los mismos. La capacidad de campo marca el límite entre el agua capilar y gravitacional, indicando la máxima cantidad de agua que puede retener el suelo después de tres días de aporte de agua. En la capacidad de campo de un suelo franco o arcilloso, este retiene agua a 0,3 atm. Mientras que los suelos arenosos lo hacen a 0,1 atm.

(<http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/suelos.html>).

Para ejemplificar lo bajo que resultan estos valores de CC, basta indicar que por ejemplo un suelo conteniendo 35 % de arcilla, 20 % de limo y 45 % de arena, presenta una CC de 24% y un punto de marchitamiento (Pm) de 13 %. En este trabajo se ha encontrado una CC de 8.33% y un Pm de 3.73%, es decir 2.88 y 3.48 veces menores, respectivamente (<http://www.inea.uva.es/web/materiales/web/riego/temas/tema5/tema5.htm/julio2010>); lo que está en correspondencia con los contenidos de arena (79.89% en los suelos de Apan vs 45% en los suelos del ejemplo), que resultan 1.77 veces mayores en los suelos de Apan.

V.1.2. Análisis químicos.

En la tabla 13 se observan de bajos a medios los contenidos del porcentaje de materia orgánica (MO) según la clasificación de Boulding (1995). Los contenidos de la MO del suelo pueden estar influenciados también por el clima, la topografía, la vegetación y el tiempo (Rosell *et al.*, 2001). Los resultados actuales de texturas de los mismos, permiten explicar la baja acumulación de MO. A pesar que sea un procedimiento de rutina dejar ciertos restos de materia vegetal sobre los suelos luego de las cosechas, esto resulta insuficiente para que la degradación de estos restos de paja y follaje permita formar humus y el incremento y acumulación de MO.

Tabla 13. Resultados de los análisis químicos de los suelos del Municipio Apan

		Metales	
--	--	----------------	--

Muestra	%Mat Org	Na (mg/Kg)	K (mg/Kg)	Ca (mg/Kg)	Mg (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)	Ni (mg/Kg)	CIC (cmol +/kg)
1	2.22	30.95	17.34	34.54	4.27	0.83	0.25	10.93
2	2.22	27.19	15.44	36.77	4.79	0.89	0.24	13.42
3	2.59	26.55	15.28	33.27	3.98	1.04	0.22	12.85
Media	2.35	28.23	16.02	34.86	4.35	0.92	0.24	12.400
Des Esta	0.214	1.941	0.936	1.447	0.335	0.088	0.012	1.065
% CV	9.12	6.88	5.84	4.15	7.71	9.60	5.27	8.59

CIC: Capacidad de intercambio catiónico; Mat Org: materia orgánica.

Por lo que respecta a los contenidos metálicos se puede indicar que se consideran en un balance adecuado salvo la presencia de plomo (Pb) que se considera un elemento tóxico, no deseable, presente en estos suelos y en ciertos casos (cambios bruscos del pH del suelo por acidificación por ejemplo), puede llegar a lixiviar a la fase acuso del suelo y penetrar al cultivo a través del sistema radicular. También puede señalarse que si los contenidos metálicos se expresan en forma de óxidos, su sumatoria se aproxima a los contenidos del porcentaje de cenizas, lo cual indica su correspondencia.

De manera similar, presenta una capacidad de intercambio catiónico (CIC) media, comparados con los que se reportan en la tabla, para suelos de altos rendimientos de cultivos (Rodríguez y Rodríguez, 2002). Esta baja cantidad en la CIC indica la escasez o déficit de materia orgánica disponible.

Se puede analizar las relaciones entre metales presentes en estos suelos. Por ejemplo, se presentaron mayores concentraciones de calcio (Ca), lo que puede corresponderse con los criterios supuestos de manejos de suelos (aplicaciones de encalado). Siguiendo con menores contenidos de potasio (K) y bajos contenidos de plomo (Pb) y níquel (Ni), como elementos no necesarios, así como desproporciones observables entre Ca y magnesio (Mg), se puede explicar la relativa baja CIC.

En la tabla 14 se pueden comparar las relaciones de proporciones de metales intercambiables, destacándose la relación Ca/Mg que resulta 8 veces mayores en concentraciones de Ca lo que puede ser indicativo de una saturación de estos suelos con este elemento por las mencionadas prácticas de aplicaciones de yeso orgánico (generalmente en forma de sulfato de calcio).

Tabla 14. Comparación de las relaciones de metales presentes en los suelos del Municipio Apan

Muestra	Na/K	Ca/Mg	Ca/Na	Ca/K
1	1.78	8.09	1.12	1.99
2	1.76	7.68	1.35	2.38
3	1.74	8.36	1.25	2.18
Media	1.76	8.04	1.24	2.18
Desv Estan	0.019	0.281	0.097	0.159
% CV	1.10	3.49	7.81	7.29

V.1.3. Indicadores de calidad de suelos.

En la tabla 15 se presentan los valores normalizados de los indicadores calculados y el índice de calidad de los suelos (ICS). El indicador que presentó el menor valor en promedio, fue el carbono orgánico (0.18) mientras que el mayor correspondió al potencial zeta (pZ) (0.61). El pH y la densidad aparente presentaron valores promedios intermedios (0.52 – 0.55). El nuevo indicador que se propone, el pZ, marca un ICS de 0.61.

El indicador pH presenta en promedio un valor de calidad de 0.55. En la mayoría de los suelos de la región existe una disminución del pH en el horizonte superficial (A) respecto a los suelos de referencia. Esta situación también ha sido reportada por otros investigadores (Pulido *et al.*, 2009), cuando se refieren a que en sistemas de monocultivos esta tendencia se observa para muchos tipos de suelos. Sin embargo, los valores medidos aún distan considerablemente del punto de toxicidad establecido para el cultivo de avena (<5.0).

Tabla 15. Indicadores e índices de calidad de suelos (ICS)

Indicador	Valores de ICS Municipio Apan			ICS
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
pH	0.59	0.49	0.56	0.55
C orgánico	0.20	0.18	0.17	0.18
Densidad aparente	0.56	0.52	0.48	0.52
pZ	0.61	0.64	0.59	0.61
VALORES PROMEDIOS	0.49	0.46	0.45	0.47

El valor promedio del indicador Carbono orgánico para los suelos del Municipio, evidencia una disminución en la calidad de un 82% respecto de los suelos tomados como referencia. La marcada disminución de la materia orgánica ha sido observada en diversas investigaciones en la región (López *et al.*, 2005; Prieto *et al.*, 2009).

El indicador densidad aparente revela que los suelos tienen un nivel medio de compactación, dado que el valor promedio ponderado de la región se encuentra entre los valores mínimos de los sitios de referencia y los máximos medidos en la región. Este valor no sería restrictivo para el crecimiento de raíces del cultivo de avena en este tipo de suelos pero se acerca a esta condición (Vepraskas, 1994; USDA-NRCS, 1999).

En cuanto al pZ, que se refiere a la estabilidad de suspensiones coloidales en el extracto de saturación de suelos, debe señalarse que es la primera vez que se reporta este parámetro. Se puede apreciar que en promedio se alcanza un ICS que los permite clasificar como suelos de alta calidad (0.61); sin embargo debe recordarse que estas suspensiones coloidales son de bajas concentraciones por cuanto corresponden a bajos contenidos de materia orgánica (Corgánico).

En este sentido se puede entender que los extractos de saturación de los suelos se presentan con valores de pZ que los ubica en un umbral de leve dispersión a moderada, por la poca concentración de materia orgánica disponible.

El índice de calidad promedio de los suelos de esta región (ICS: 0.47) obtenido mediante este set mínimo de indicadores (tabla 15) se ubica en la clase 3, de moderada calidad de suelos (tabla 10). El valor del ICS está fuertemente influenciado por el indicador Carbono orgánico, que fue la propiedad más afectada por el manejo de estos suelos. El Carbono orgánico es considerado un atributo clave dada su marcada influencia sobre la mayoría de las propiedades del suelo (Gregorich, 1994). La disminución del Carbono orgánico sería la causa principal de los valores bajos del indicador estabilidad de los suelos y medio del indicador densidad aparente. Estos cambios en las propiedades físicas afectan la condición superficial del suelo provocando un incremento de los procesos de erosión, con la consiguiente pérdida de espesor del horizonte superficial, y modificaciones de la textura.

El set de indicadores utilizados para evaluar la calidad del suelo cumple con los criterios más importantes requeridos para su uso como indicadores. Se trata de un número mínimo de variables o atributos del suelo que integran información de otras variables asociadas, incorpora indicadores físicos, químicos y fisicoquímicos, y en su mayoría son de fácil medición. Lo expuesto evidencia la aptitud de los indicadores seleccionados para reflejar, en términos de calidad, los cambios en cada una de las propiedades. En la construcción del set se consideraron las principales propiedades de los suelos del área para que los indicadores representen las condiciones locales.

V.2. Análisis de avena.

V.2.1. Análisis morfológico de los granos de avena

La figura 10 muestra los granos de avenas utilizados para este estudio.



Figura 11. Muestra de granos de avena con cáscara

IV.2.2. Análisis sensorial, temperatura, impurezas y sanidad

El contenido de impureza que presentó la muestra de avena fue de un 15.40 % (84.60% limpio). Es importante remarcar que las materias extrañas son principalmente restos vegetales, florales, tallos y semillas. Márquez (2006) obtuvo un rendimiento similar (86.46%), mientras que López (2005) reportaron un contenido de impurezas para la variedades de cebada cultivadas en el estado de Hidalgo entre un 2.1-3.8 %. Cabe destacar que no se han reportados estudios de esta índole con la variedad de avena Karma en el estado.

De acuerdo con la CODEX STAN 201-1995, este valor se encuentra fuera de los límites permisibles, ya que debe de contener el 2 % de impurezas para ser comercializada. Esto indica que no se tiene especial cuidado al momento de la separación de los granos con el resto de la planta, debido a que la recolección del grano puede ser llevada a cabo de manera mecánica. Al no encontrarse dentro de los límites permisibles para ser comercializada, esta avena recibe una deducción del 2.5 % por cada 5 kg/t en cuanto a su precio respecto a la Norma Mexicana (válida para los cereales como el trigo, la cebada y centeno). No obstante se decidió trabajar con esta muestra debido a que no presenta ningún riesgo para ser estudiada.

Por su análisis sensorial presentó olor y color característico y no se observaron insectos ni granos dañados o picados. Su temperatura se mantuvo constante con la temperatura ambiente durante la prueba.

V.2.3. Análisis físicos de la avena.

Los resultados de algunas pruebas físicas practicadas a los granos de avena se muestran en la tabla 16.

Tabla 16. Análisis físicos en el grano de avena *Sativa* variedad Karma cultivada en el municipio de Apan, Hidalgo

Muestra	DPHL (Kg/HL)	DPMG (g)	DIF (%)	DPA (%)
1	84.83	48.43	24.00	82.97
2	83.10	48.22	22.30	84.16
3	83.24	45,81	25.00	79.25
4	85.42	39,45	19.80	76.07
5	84.61	36,58	18.10	80.67
Media	84.24	43,70	21.60	80.62
Desv Estan	0.92	4,816	2.728	2.850
CV%	1.09	11,02	12.63	3.53

DPHL: Densidad por peso Hectolitro; DPMG: Densidad de peso de mil granos; DIF: Densidad por índice de flotación; DPA: Dureza por abrasión

De la tabla 16 se puede hacer notar la elevada DPHL de 84 kg/HL, comparada con la reportada (60-75 kg/HL) por algunas bibliografías (Espitia *et al.*, 1988 y <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/avena.htm>, 2009). Esto puede estar asociado a elevados contenidos en fibras a menores contenidos en carbohidratos, principalmente almidón. Por su parte los valores de DPMG resultan similares a los reportados por la NMX-FF-043-SCFI-2003. La DIF resulta un poco elevada lo cual sugiere que existen poros o espacios de aire en el endospermo del grano. Presentaron una DPA en valores medios, lo que puede significar que su pericarpio resulta moderadamente duro.

V.2.4. Análisis químicos de la avena.

Los resultados de los análisis químicos realizados en avena se resumen en la tabla 17.

Tabla 17. Análisis químicos en el grano de avena expresados en porcentaje

Muestra	Humedad	Cenizas	Grasas	Fibra	Proteína	CHS
1	7.17	2.023	10.72	11.96	7.26	68.88
2	7.08	2.010	10.58	11.51	7.71	69.38
3	7.13	2.090	9.82	11.28	7.52	71.09
Media	7.13	2.041	10.37	11.59	7.50	69.78
Desv. Estan	0.037	0.042	0.480	0.350	0.224	0.947
% CV	0.52	2.09	4.65	2.98	2.99	1.36

CHS: Carbohidratos totales (por cálculos)

De la tabla se puede apreciar como sus contenidos de humedad resultan ser 0.87 veces más bajos que los que se reportan en la tabla 4 (Infoagro, 2009) para un grano de avena promedio de esta especie. Esta baja humedad del grano puede ser consecuencia de los suelos donde se ha cultivado ya que presentan una baja capacidad de retención de humedad. Estos resultados corresponden con las texturas de suelos franco-arenosos que no son capaces de retener mayores niveles de humedad. Esto indica que estos granos de avenas requerirán de mayores

niveles de absorción de humedad en casos de ser utilizados como semillas para nuevas siembras. Los contenidos de cenizas se encuentran dentro de los valores considerados como óptimos (tabla 3), en tanto los contenidos de grasas se muestran 1.7 veces mas elevados (10.37%) que lo que corresponde a un grano normal. Cabe destacar que este cereal es el que presentan los más altos contenidos en grasas, sobretodo en ácidos grasos insaturados.

Los niveles encontrados en fibras fueron cinco veces mayores que el valor promedio que indica la tabla 4. Esto permite corroborar que por los altos contenidos en fibras se asocian a la elevada DPHL que se indicó anteriormente.

En lo que respecta a los valores encontrados en proteínas, debe señalarse que sólo representó un 50% aproximadamente de lo que se reporta (Serna, 2009). A pesar de ser la avena el cereal que presenta ocho aminoácidos imprescindibles para la síntesis correcta de proteínas, comparado con otros cereales como el trigo o la cebada y el centeno que sólo presenta un o ninguno respectivamente; es de destacar que sus contenidos resultaron bajos para un grano en valores óptimos.

Por su parte, los carbohidratos totales resultaron 0.93 veces inferiores a los reportados en tabla 4, esto puede deberse principalmente a los elevados contenidos en fibras como ya se indicó.

En las figuras 12, 13 y 14 (a y b) se pueden observar las microfotografías de gránulos de avena. La figura 12 ilustra de un corte transversal, donde se observa el pericarpio y el endospermo del grano. Físicamente se puede observar que un grosor pequeño pero compacto del pericarpio que justifica la dureza del grano a la abrasión; en la figura 13 se observa el detalle de la barba del grano.

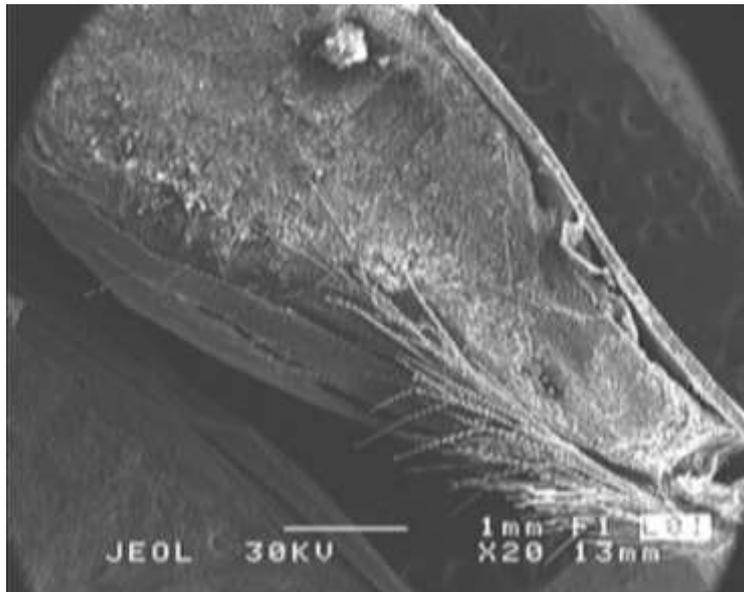


Figura 12. Corte transversal del grano de avena donde se observa el pericarpio y el endospermo (Tomada en el Laboratorio de MEB en el área de materiales)

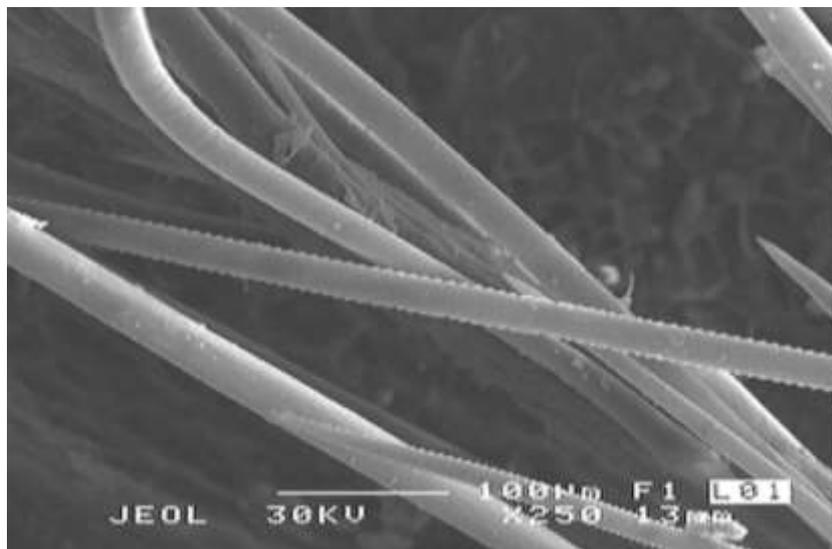


Figura 13. Detalle de las vellosidades de la barba del grano de avena (Tomada en el Laboratorio de MEB en el área de materiales)

Por su parte en la figura 14 a se aprecia la morfología de los polvos de harina del grano de avena. Se observan la presencia de partículas esféricas de aproximadamente 20 μm que se corresponde con gránulos de almidón, que forman parte mayoritaria de los carbohidratos presentes; también se observan gránulo o más bien agregados de partículas cuyas dimensiones resultan unas 20 veces mayores; ésta puede ser el resultado de agregados de diferentes gránulos con partículas de grasas llegando a formar grumos como el que se aprecia en el centro de la microfotografía.

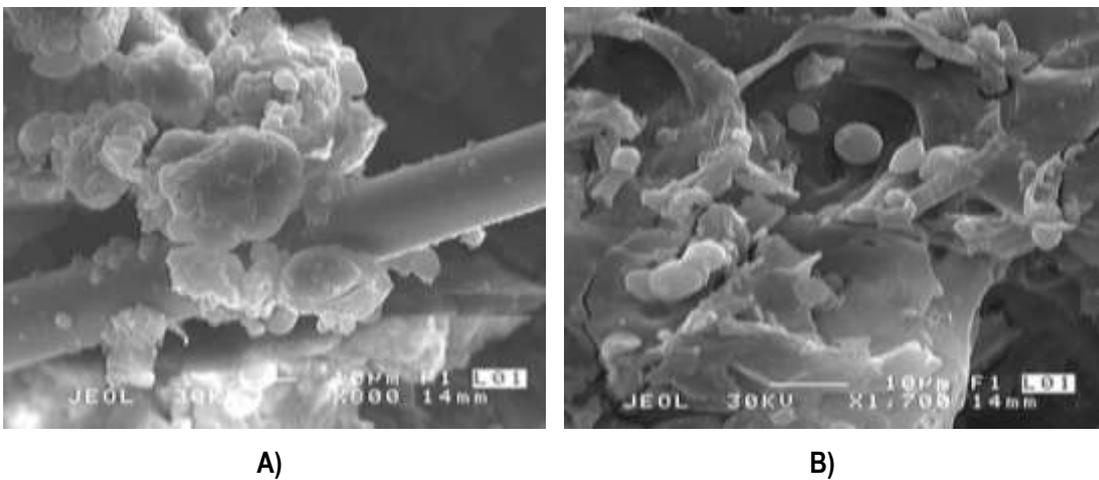


Figura 14. (A y B) Detalles del endospermo del grano de avena estudiado (Tomada en el Laboratorio de MEB en el área de materiales)

V.2.5. Distribución y tamaños de partículas en granos de avena

En la figura 15 se aprecia la distribución y tamaños de partículas en una suspensión acuosa, de granos de avenas previamente molidos (harina). Se presenta una gran variabilidad en distribución de tamaños de partículas fundamentalmente a valores entre 20 y 300 μm . El tamaño promedio predominante fue de 20.06 μm (media, con una moda de 28.70 μm), tamaños estos asociados a las partículas de almidón, que podrían representar la parte mayoritaria de los carbohidratos y que fueron observables en las microfotografías de la figura 14.

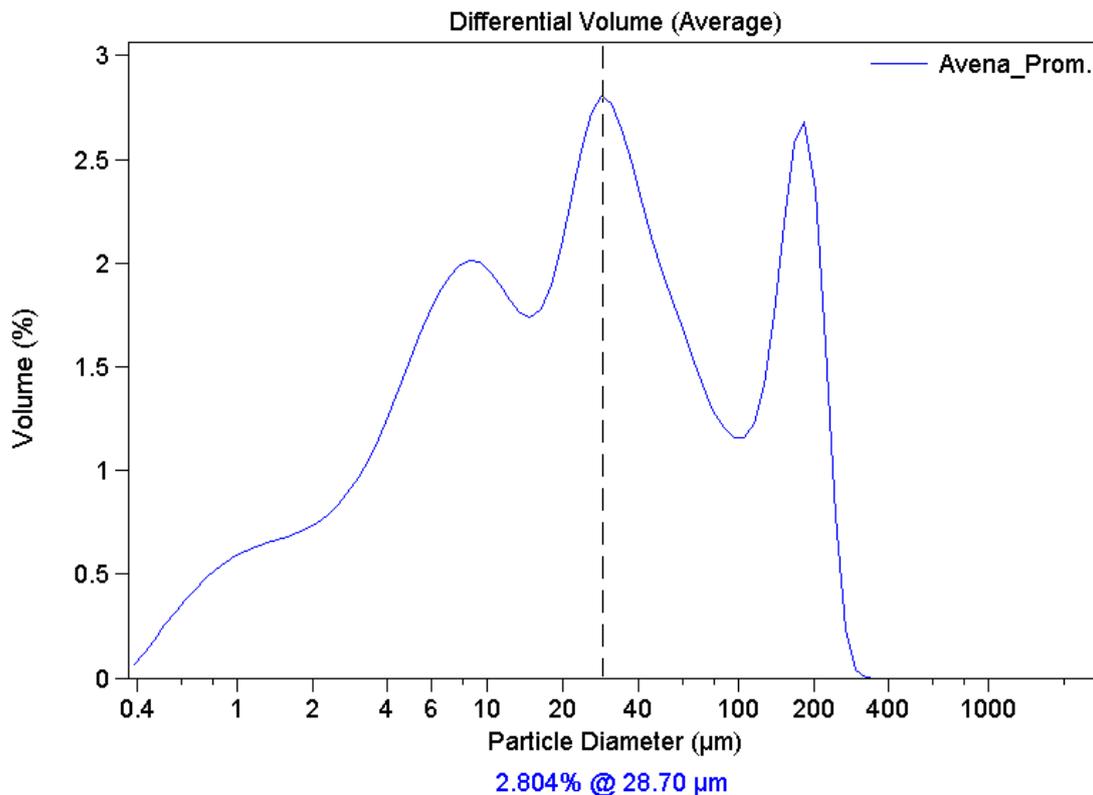


Figura 15. Distribución y tamaño de partículas en los granos de avena molidos (harina)

El tamaño promedio encontrado para estos gránulos de almidón, los sitúan en dimensiones similares a los de otros cereales (arroz, 10 μm ; trigo, 40 μm y maíz, 30 μm) que se reportan (Prieto et al., 2005). También son observables tamaños mayores, aproximadamente en un tamaño promedio de 200 μm los cuales se pueden corresponder a aglomerados de grasas y fibras presentes en el grano. Finalmente se aprecian partículas menores de 10 μm que se asocian a las partículas de proteínas presentes. Este análisis permite corroborar la composición proximal que se determinó.

En la tabla 17 se muestran los resultados estadístico de estas determinaciones. En ella se observan los valores de media, mediana, moda y una desviación estándar de 4.57.

Tabla 18. Análisis estadístico de la determinación de distribución y tamaños de partículas

Volume Statistics (Geometric) Avena_Prom.						
Calculations from 0.375 µm to 2000 µm					Save	Close
Volume:	100%					
Mean:	20.06 µm	S.D.:	4.573			
Median:	23.09 µm	Variance:	20.91			
Mean/Median ratio:	0.869	Skewness:	-0.308 Left skewed			
Mode:	28.70 µm	Kurtosis:	-0.620 Platykurtic			
% >	10	25	50	75	90	
µm	162.8	62.09	23.09	6.964	2.398	

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del estudio realizado se puede concluir lo siguiente:

1. Los suelos destinados al cultivo de la avena variedad Karma en el municipio de Apan, en el estado de Hidalgo, presentan una estructura franco arenosa que no resulta del todo beneficiosa para este cereal.
2. Muestran valores de pH y de Eh que los clasifican como suelos neutros y moderadamente reductores, respectivamente, que aunque resultan propios para este tipo de cultivo, no permite que se alcancen rendimientos tan elevados como de otros cultivos de la región, como puede ser el cultivo de cebada maltera.
3. Estos suelos presenta una baja capacidad de retención de humedad y baja capacidad de campo lo cual repercute en las etapas de germinación del grano para alcanzar altos rendimientos.
4. De manera similar presentaron bajos valores de capacidad de intercambio catiónico lo que unido a bajos contenidos de materia orgánica, no benefician el cultivo de la avena, al menos para esta variedad Karma.
5. Al valorar los índices de calidad para estos suelos siguiendo de forma parcial algunas de las metodologías recomendadas, se encontró que su índice de calidad los clasifica como de moderada a baja calidad para el cultivo de la avena.
6. La composición proximal de los granos de avena presentaron elevados contenidos en grasas, por encima de lo considerado como normal u óptimo para la avena, lo cual hace que resulte un producto no fácilmente comercializable y sólo representa un potencial consumo para alimentación de ganado.

-
7. Igualmente presentaron elevados contenidos en fibras y por ello mostraron una densidad por peso hectolitro y una dureza por abrasión relativamente elevadas. Esto pudo ser igualmente corroborado de manera cualitativa por la Microscopio Electrónico de Berrido.
 8. Los tamaños y distribución de partículas presentaron tamaños promedios mayoritarios de alrededor de 24 μm , lo que los sitúa en valores similares a los tamaños de gránulos de almidones de otros cereales como el trigo y el arroz. Se asume que las partículas mayoritarias medidas se corresponden de manera análoga a gránulos de almidón, como fracciones mayoritarias de los contenidos de carbohidratos.

RECOMENDACIONES

Considerando que este estudio requiere de ser ampliado e investigado con mayor profundidad, se recomienda que se continúen realizados ensayos tanto de los suelos donde se cultiva este cereal como de la propia avena de la variedad Karma. Compararla con otras variedades de la región y estudiar la forma en que se correlacionan con las características de los suelos de cultivo. Es recomendable también que se pueda buscar otros usos alternativos para los granos de avena a fin de incorporarle un nuevo valor agregado e incentivar su cultivo más masivo, como lo es el cultivo de cebada para esta región.

VII. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ❖ Álvarez, P. A.; Luna, M.; Hernández, J.; Lara, A.; Salas, M. A.; Cabañas, B. (2006). Production systems of malting barley (*Hordeum vulgare* L.) in Zacatecas state, Mexico. *Agric. Téc. Méx.* 32(2): 181-190.
- ❖ AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1995) .Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15 Th Edition. Vol. II. Kenneth Helrich. 1990: 777-781, 1095-1096.
- ❖ Archer, N.; Hess, T.; Quinton, J. (2002). The water balance of two semiarid shrubs on abandoned land in South-Eastern Spain after cold season rainfall. *Hydrology and Earth System Sciences* 6(5): 913-926.
- ❖ Arias, J. A. C. (2007). *Suelos tropicales*. San José, Costa rica. Editorial: Universidad Estatal a Distancia. P.p. 50-53.
- ❖ Barrera Cruz, I. Y. (2010). Una revisión del sistema suelo. Monografía. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, p. 16-19.
- ❖ Beratto. M.; Rivas, R. (2002). *Calidad del grano de avena: características y parámetros de comercialización*. Chile.
- ❖ Blum, W. Santelises, A. A. (1994). A concept of sustainability and resilience based on soil functions. Pp. 535-542. In: DJ.
- ❖ Boulding JR. (1995). *Description and sampling of contaminated soils. A field guide*, 2nd ed. Boca Raton, FL7 Lewis Publishers; Chapter 3.
- ❖ Bowen, H. D. (1981). Alleviating mechanical impe-dance. In: C.E. Arkin and H.M. Taylor (Eds.). *Modifyin root environment to reduce crop stress*. Am.Soc.Agr.Eng. Monogr. 4.
- ❖ Brejda, J. J.; Moorman, B.; Karlen, D. L.; Dao, T. H. (2000). Identification of regional Soil Quality factors and indicators: I. Central and Southern High Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:2115-2124.

-
- ❖ Breuer, L.; Huisman, J. A.; Keller, T.; Frede, H. G. (2006). Impact of a conversion from cropland to grassland on C and N storage and related soil properties: Analysis of a 60 year chronosequence. *Geoderma*, 133:6-18.
 - ❖ Brye KR & NA Slaton. (2003). Carbon and Nitrogen storage in a typic Albaqualf as affected by assessment method. *Comm. in Soil Sc. and Plant Anal.* 34: 1637-1655.
 - ❖ Buduba, C. (2006). Modificaciones en el pH y contenido de materia orgánica en suelos del ecotono estepa/bosque andino patagónico por implantación de pino ponderosa. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
 - ❖ Bye, C., Fowle, A.S.E., Letley, E. y Wilkenson, S. (1974). Lack of effect of Avena sativa on cigarette smoking. *Nature*, 252, 580–581.
 - ❖ Callejo M. J. (2002). Industrias de cereales y derivados. Madrid. A. Madrid Vicente ediciones. Pp. 27
 - ❖ Cantú, M. P.; Becker, A. R.; Bedano, J. C.; Schiviano, H. F., Parra, B. J. (2009). Evaluation of the impact of land use and management change by means of soil quality indicators, Cordoba, Argentina. *Cadernos Lab. Xeoloxico de Laxe. Coruna.* Vol. 34, pp. 203 – 214.
 - ❖ Cantú, M. P.; Becker, A. R.; Bedano, J. C.; Musso, T. B.; Schiavo, H. F. (2002). Evaluación de la calidad ambiental y calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. CD. 6 pp.
 - ❖ Carreira, D. (2005). Carbono oxidable. Una forma de medir la materia orgánica del suelo. Pp. 91-102. *En: L Marbán & S Ratto (eds.). Tecnologías en análisis de suelos.* Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.
 - ❖ Castellano, J. Z.; Uballe, J. X.; Aguilar, A. (2000). Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. Colección INCAPA, 2da edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México
 - ❖ Cepeda, D. J. M., (1999). Química de suelos. Primera reimpresión. Ed. Trillas. México.
 - ❖ Cong, W. (1994). Geología física. Ed. Limusa. México.
 - ❖ Davy, B.M., Davy, K.P., Beske, S.D., Davrath, L.R. y Melby, C.L. (2002). High-fiber oat cereal compared with wheat cereal consumption favorably alters LDL-cholesterol

-
- subclass and particle numbers in middle-aged and older men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76(10), 351-358.
- ❖ De Santa Olalla, F. (2005). Agua y Agronomía. Ed. Mundi-prensa. Pp.29
 - ❖ Delcour, J. and Hoseney, C. Principles of Cereal Science and Technology. Third edition. Parra, M. (2003). Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcareas. Ed. Mundi-prensa.
 - ❖ Doménech, X. (1995). Química del Suelo. Miraguano, Madrid.
 - ❖ Donoso, C. 1992. Ecología Forestal: El Bosque y su Medio Ambiente. Universidad Austral de Chile. Editorial Universitaria. Santiago. Chile.
 - ❖ Doran, J. W.; Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. In: JW Doran; DC Coleman; DF Bezdicek & BA Stewart (eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publication N° 35. Wisconsin, USA.
 - ❖ Doran, J. W.; Parkin, T. B. (1996). Quantitative indicators of soil Quality: a minimum data set. Pp. 25-37. In: Methods for assessing Soil Quality, SSSA Special Publication N° 49, Wisconsin, USA.
 - ❖ Doran, J. W.; Sarrantonio, M.; Liebig, M. A.. (1996). Soil Health and sustainability. Pp.1-54. In: LD Sparks (ed.). Advances in Agronomy, Vol 56. Academic Press Inc. San Diego CA. Doran, JW & M Safley. 1997. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. Pp. 1-28. In: C Pankhurst; BM Doube & VVSR Gupta (eds.). Biological indicators of soil health. CAB International, Wallingford.
 - ❖ Doran, J. W.; Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Appl. Soil Ecol.*15: 3-11.
 - ❖ Espitia, E., Márquez, C., Villaseñor, H.E. (1988). Karma nueva variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Centro.
 - ❖ FAO. Tablas de Composición de Alimentos para Uso Internacional, Roma (1999).
 - ❖ FDA. DEPT. OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. (1997). Food Labeling. Table of Contents Subpart E: Specific Requirements for Health Claims. In: Code of Federal Regulations, 2(81-101), 141-145.

-
- ❖ Gregorich, E. G.; Carter, M. R.; Angers, D. A.; Monreal, C. M.; Ellert, M. H. (1994). Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soil. *Can. J. Soil Sci.* 74: 367-385.
 - ❖ Gurovich Z. Luis A. (1997). Riego Superficial Tecnificado: Un libro de texto para la Agricultura. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Ediciones Universidad Católica de Chile.
 - ❖ Gutiérrez, N. C., Gutiérrez J. R.; C. y Venialgo C. (1999). Efectos de distintos sistemas de labranza y cultivo sobre la estabilidad de agregados y el contenido de materia orgánica en un aptosol tóxico. Ed. Comunicaciones Científicas y tecnológicas. Tomo V.
 - ❖ Hati, K. M., Swarup, A., Dwivedi, A. K., Misra, A.K. and Bandyopadhyay, K.K. (2007). Changes in soil physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a vertisol of central India after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119 (1-2): 127-134.
 - ❖ Jackson, M. L. (1982). Análisis químico de suelos. Omega, Barcelona.
 - ❖ Karlen, D. L.; Mausbach, M. J.; Doran, J. W.; Cline, R. C.; Harris, R. F.; Schuman, G. E. (1996). Soil Quality; concept, rationale and Research Needs. Soil Science Society of America, Committee.
 - ❖ Lettens, S; B De Vos; P Quataert; B Van Wesemael; B Muys & J Van Orshoven. (2007). Variable carbon recovery of Walkley-Black analysis and implications for national soil organic carbon accounting. *Eur J of S Sci.* 1365-2389.
 - ❖ Lilburne, I.; Saprling, G.; Schipper, L. (2004). Soil quality monitoring en New Zealand development of an interpretative framework. *Agric. Ecosyst. Environ.* 104: 533-544.
 - ❖ López, P. P., Gúzman, O. F. A. y Santos, L. E. M. (2005). Evaluación de la calidad de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum* jess) cultivadas en los Estados de Hidalgo y Tlaxcala. *Revista Chilena de Nutrición.* Vol. 32, No. 3, p.247-253. ISSN 0717-7518.
 - ❖ Malvern Instrument, Inc. (2004). Potencial Zeta. Un curso completo en cinco minutos. Ed. Malver Inst. Catálogo Zeta-Meter. Westborough, MA 01581-1042, USA.
 - ❖ Manahan, S. E. (2006). Introducción a la Química Ambiental. España. Ed. Reverte. Pp. 443

-
- ❖ Manahan, S. E. (2007). *Introducción a la Química Ambiental*. España. Ed. Reverte. Pp. 319
 - ❖ Márquez. E. A. K., Acosta, R. K. y Román, G. A. D. (2006). Rendimiento de molienda de distintas variedades de cebada (*Hordeum Sativum jess*). *Revista Salud Pública y Nutrición*. Edición especial No. 14-2006 ISSN 1870-0160.
 - ❖ Matissek, R., Schenepel, F.N. y Steiner, G. (1998). *Análisis de los alimentos*. Acribia. Zaragoza, España.
 - ❖ Murphy, J. P., and Hoffman, L.A. (1992). The origin, history and production of oat. *American Society of Agronomy Inc. and Crop Science Society of American Inc. Madison*.286.
 - ❖ Norma Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003. Productos alimentarios no industrializados para consumo humano-cereal- cebada. Especificaciones y métodos de prueba. Publicada en el diario oficial el 18 de Octubre del 2003.
 - ❖ Norma Oficial Mexicana. NOM-021-RECNAT-2000. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Diario Oficial de la Federación del 14 de febrero de 2001. p. 17.
 - ❖ Parra R. M. A. (2003). Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Editorial Mundi-Prensa. Pp. 37
 - ❖ Prieto, J. Román, A. D. Prieto, F. (2005). Estudio comparativo de características fisicoquímica de cereales Kellog's. *Rev. chil. nutr.* [online]. vol.32, n.1 [citado 2010-08-11], pp. 48-59
 - ❖ Prieto, F.; Prieto, J.; de Ita, S.; Méndez, M. A.; Román, A. D. (2009). Correlación de potencial zeta (pZ) y parámetros fisicoquímicos en extractos de saturación de suelos del Distrito de riego 03 del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Tropical and Subtropical Agro ecosystems* 10(2): 161-167.
 - ❖ Pulido, M. A.; Lobo, D.; Lozanoj, Z. (2009). Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y la materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela. *Agrocienc*, Vol. 43 (3): 221-230.

-
- ❖ Rodríguez, o.; Rodríguez A. (2002). Comparison of the CEC in two soils using Ammonium Acetate, and Sodium Acetate and Ammonium Chloride. *Rev. Fac. Agron.*, oct. 2002, vol.19, no.4, p.253-263. ISSN 0378-7818.
 - ❖ Rosell, RA; JC Gasparoni & JA Galantini. (2001). Soil organic matter evaluation. Pp. 311-322. *En: R Lal; J Kimble; R Follett & B Stewart (eds.). Assessment Methods for Soil Carbon.* Lewis Publishers, USA.
 - ❖ Royo, D. N, Venialgo, J. R., y Gutiérrez, C. (1998). Efectos de los monocultivos sobre las propiedades físicas de los suelos de la serie Tizón: *Comunicaciones Científicas y tecnológicas.* Tomo III.
 - ❖ Scheffer, F. & Schachtschabel, P. (1992). *Lehrbuch der Bodenkunde.* Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart, Alemania. 491 pp.
 - ❖ Segnestam, L. (2002). Indicators of Environmental and Sustainable Development. Theories and Practical Experience, Environmental Economic Series, Paper N° 89, 61 pp. World Bank, Washington DC.
 - ❖ Soil Survey Staff. (2006). *Key to Soil Taxonomy.* USDA Tenth Edition. Washington DC. 341 pp.
 - ❖ Tamayo & Tamayo M. (1998). *El proceso de la Investigación Científica.* Tercera Edición. Ed. Limusa. México. Pp. 142-150
 - ❖ Van Loon, G. and Duffy, S. 2005. *Environmental chemistry: a global perspective.* 2da edición. California. Pp. 381
 - ❖ Vepraskas, M. J. (1994). Plant response mechanisms to soil compactation. p. 263-287. In: R. E. Wilkinson (Ed.). *Plant-environment interaction.* Dekker Publ. Co., New York.
 - ❖ Vera, J. A.; Grageda, O. A.; Vuelas, M. A.; Peña, J. J. (2002). Absorción de Nitrógeno por el cultivo de cebada en relación con la disponibilidad de agua en el bajío, Guanajuato, México. *Terra Latinamericana* 20(1): 57-64.
 - ❖ Volveré, B.; Amézquita, E. (2009). Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en laderas andinas de Nariño, Colombia. *Acta Agron. (Palmira)* 58(1): 35-39.

-
- ❖ Warkentin, B. P. (1996). Overview of soil quality indicators. Pp. 1-13. In: GM Cohen & HS Vanderpluym (eds.). Proc. Soil Quality Assessment for the Prairies, Agric. Canada, Edmonton.
 - ❖ Zárate, P.; Vargas, D. (2009). El concepto de suelo según el geólogo y el Ingeniero civil. Caso estudio: el subsuelo de la ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. Ingeniería Geológica, Riesgo Geológico y Geotecnia. 21(1):263-271.

Sitios de internet

- ❖ <http://www.zonadiet.com/alimentacion/l-avena.htm>, 2009
- ❖ <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/avena.htm>, 2009
- ❖ <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/avena.htm>, 2009
- ❖ <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/suelos.html>
- ❖ <http://www.inea.uva.es/web/materiales/web/riego/temas/tema5/tema5.htm/julio2010>