

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA



CARACTERIZACIÓN DE SUELOS CEBADEROS DEL SUR
DEL ESTADO DE HIDALGO Y DEL CULTIVO DE CEBADA
"Hordeum distichum"

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN
QUÍMICA EN ALIMENTOS

PRESENTA

José Roberto Cruz Chávez

ASESORES

Dr. Francisco Prieto García

Dra. Alma D. Román Gutiérrez

Julio 2011

Agradecimientos

A Dios Padre, Dios Hijo, Dios Espíritu Santo y a la Virgen María: gracias por darme esta vida y cuidar de ella en cada momento y por darme un destino único. Aleluya. Gracias por darme el amor de una familia. Y gracias a todos aquellos Santos que un momento de mi vida me cobije en su regazo.

A mis padres: Roberto Cruz Sánchez y Maribel Chávez González: gracias Papá por todo ese esfuerzo, trabajando mas de la cuenta para ofrecerme una escuela y brindarme una vida cómoda y sin necesidades. Gracias Mamá por todo tu esfuerzo, siempre teniendo la comida lista y todo lo que necesitara, gracias por todas tus palabras que al final valieron la pena. Espero con esto regresarles un poco de todo lo que me han dado. Y recuerden que lo mucho o poco que soy es gracias a ustedes. Los ama su Chaparro.

A mis hermanos: José Gerardo Cruz Chávez y Juan José Cruz Chávez: gracias por ser parte de mi vida y hacer de ella divertida. Gera recuerda que yo no fui un excelente alumno simplemente nunca me deje vencer, yo confié en ti y se que algún día tú vas estar en el mismo lugar que ahora me encuentro, solo busca el camino correcto y siempre confía en ti. Juanito yo se, que la escuela en ocasiones es un poco aburrida pero créeme al final vale la pena estudiar, aun te falta mucho camino que recorrer y tantas cosas que aprender, solo siempre elige el camino correcto y recuerda que la familia siempre debe estar unida y feliz, además de apoyarse unos a los otros. Recuerden que en mi siempre tienen a un amigo y el día que quieran platicar, estaré hay para escucharlos. Los ama su hermano el Cachis.

A mi novia, Nohemí Hernández Cervantes: tû eres parte fundamental que hoy me encuentre aquí. Gracias por ser mi compañera, mi amiga, mi guía y mi amor. Gracias por demostrarme que yo puedo y que todo es fácil. Gracias por todo tu apoyo y tus palabras de aliento cuando sentía que mi mundo de desmoronaba. Aun falta mucho camino que recorrer pero sé que todo estará muy bien, por que te tengo a mi lado. Te ama tu Beto. “Siempre Juntos - Siempre Felices”

En este momento de mi vida existe mucha gente a quien mes gustaría agradecerles pero es un poco complicado mencionarlos a todos. Gracias por poner su granito o una montaña de arena para que yo lograra esto. Gracias a todos por ser parte de mi vida y hacer de ella muy feliz, llena de amor y demostrarme una sincera amistades. Siempre los llevare en mi y estarán en mi.

En memoria de:
Alberto Calderón Rivero
Siempre estarás en Dios y en nuestros corazones

ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE GRAFICOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1 Suelo	3
2.2 El suelo como un sistema trifásico	3
2.2.1 Fase sólida	5
2.2.2 Fase líquida	9
2.2.3 Fase gaseosa	11
2.3. Parte sólida de los suelos	12
2.3.1. Proporción inorgánica	12
2.3.2. Proporción orgánica	15
2.3.3. Proporción biológica	16
2.4 Formación del suelo	18
2.4.1. Meteorización de las rocas	19
2.4.2. Evolución del suelo	19
2.5. Factores que intervienen en la formación del suelo	20
2.5.1. Clima	20
2.5.2. Topografía	20
2.5.3. Organismos	21
2.5.3.1. Plantas superiores	21
2.5.3.2. Vertebrados	21
2.5.3.3. Mesofauna	22
2.5.3.4. Microorganismos	22
2.5.4 Tiempo	22
2.5.5 Material de origen	22
2.6 Análisis físicos y químicos de los suelos	23

2.6.1	Análisis físicos	23
2.6.1.1	Textura	23
2.6.1.2	Densidad real	23
2.6.1.3	Densidad aparente	24
2.6.1.4	Espacio poroso	25
2.6.1.5	Agua higroscópica	25
2.6.1.6	Capacidad de campo	25
2.6.1.7	Agua capilar	26
2.6.2	Análisis químicos	26
2.6.2.1	pH	26
2.6.2.2	Conductividad	26
2.6.2.3	Materia orgánica	27
2.6.2.4	Capacidad de intercambio catiónico	27
2.6.2.5	Metales	30
2.7.	El cultivo de cebada	31
2.7.1.	Calidad de la cebada	31
2.8	Producción de cebada	32
2.9.	Efectos del suelo en la producción de cebada	34
3.	OBJETIVOS	36
3.1	Objetivo General	36
3.2	Objetivos Específicos	36
4.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	37
4.1	Sitios de muestreo de suelos y cultivo en la zona de estudio	37
4.2	Muestreo y cálculo del tamaño de muestra para los suelos	38
4.3	Tratamiento de la muestra de suelos	39
4.4	Métodos de análisis de propiedades físico-químicas de los suelos	39
4.4.1	Análisis Físicos	39
4.4.1.1	Textura	40
4.4.1.2	Densidad real	40

4.4.1.3 Densidad aparente	41
4.4.1.4 Espacio poroso	42
4.4.1.5 Agua higroscópica	42
4.4.1.6 Capacidad de campo	42
4.4.1.7 Agua capilar	43
4.4.1.8 Tamaño y distribución de partículas coloidales	43
4.4.2 Análisis químicos	44
4.4.2.1 pH	44
4.4.2.2 pZ	44
4.4.2.3 Potencial redox y conductividad	44
4.4.2.4 Carbono orgánico y materia orgánica	45
4.4.2.5 Capacidad de intercambio catiónico	45
4.4.2.6 Nitrógeno total	46
4.4.2.7 Metales	47
4.5 Análisis proximal para el cultivo de cebada	47
4.5.1 Humedad	47
4.5.2 Proteína y nitrógeno	48
4.5.3 Grasa	48
4.5.4 Fibra	48
4.5.5 Carbohidratos	49
5. RESULTADOS	50
5.1 Análisis físicos de suelos	50
5.1.1 Textura	50
5.1.2 Densidad real	51
5.1.3 Densidad aparente	53
5.1.4 Espacio poroso	54
5.1.5 Agua higroscópica	55
5.1.6 Capacidad de campo	56
5.1.7 Agua capilar	58

5.1.8 Tamaño y distribución de las partículas coloidales	59
5.2 Análisis químicos de suelos	61
5.2.1 pH, pZ, Eh y conductividad	61
5.2.2 Materia orgánica	63
5.2.3 Capacidad de intercambio catiónico	64
5.2.4 Humedad	66
5.2.5 Nitrógeno y relación carbono/nitrógeno	67
5.2.6 Metales	68
5.3 Análisis proximal por órgano del cultivo	71
5.3.1 Humedad	71
5.3.2 Proteína y nitrógeno	73
5.3.3 Grasa	74
5.3.4 Fibra	75
5.3.5 Carbohidratos	75
6. CONCLUSIONES	77
7. RECOMENDACIONES	79
8. BIBLIOGRAFÍA	80

Índice de Figuras

2.1 Composición porcentual de las fases del suelo	4
2.2 Fases del suelo	4
2.3 Perfiles del suelo	7
2.4 Espacio poroso por donde circula la fase líquida en el suelo	10
2.5 Interacción de la materia orgánica (biomasa vegetal) y la actividad microbiana (biomasa microbiana)	17
2.6 Esquema del intercambio de cationes	28
4.1 Mapa de ubicación	37
4.2 Plano de recolección zig-zag	38
5.1 Triangulo de texturas	51

5.1 Distribución y tamaño promedio de las partículas coloidales de las parcelas Sabinal (P1), Peña (P2) y Vega (P3) en el municipio de Almoloya	59
5.2 Distribución y tamaño promedio de las partículas coloidales de las parcelas Tio Chano (P4) y Panadera (P5) en el municipio de Apan	60
5.3 Distribución y tamaño promedio de las partículas coloidales de las parcelas Bonilla I (P6) y Bonilla II (P7) en el municipio de E. Zapata	61

2.1 Evolución del perfil del suelo	6
2.2 Composición del aire del suelo	12
2.3 Principales elementos inorgánicos de la corteza terrestre	13
2.4 CIC de diferentes materiales comunes de los suelos	29
2.5 Composición del grano de cebada por 100 g	31
2.6 Aspectos físicos y bioquímicos que debe cumplir una cebada de calidad maltera	32
2.7 Principales países productores a nivel mundial	33
2.8 Resultados de siembra y cosecha de cebada en los años 2006-2009 en el estado de Hidalgo. Primavera-Verano, sistema de temporal	34
4.1 Características de los municipios en estudio	38
5.1 Resultados de arcilla, limo y arena en los diferentes suelos evaluados	50
5.2 Resultados de densidad real (DR) en los diferentes suelos evaluados	52
5.3 Resultados de densidad aparente (DA) en los diferentes suelos evaluados	53
5.4 Densidad aparente (DA) esperada en función de su textura	53
5.5 Resultados de espacio poroso (EP) en los diferentes suelos evaluados	54
5.6 Resultados de agua higroscópica (AH) en los diferentes suelos evaluados	56
5.7 Resultados de capacidad de campo (CC) en los diferentes suelos evaluados	57
5.8 Resultados de agua capilar (AC) en los diferentes suelos evaluados	58
5.9 Resultados de pH, Eh, pZ y conductividad en los diferentes suelos evaluados	62
5.10 Resultados de materia orgánica (MO) en los diferentes suelos evaluados	64
5.11 Resultados de capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los diferentes suelos evaluados	65
5.12 Resultados de humedad (H) en los diferentes suelos evaluados	67
5.13 Resultados de carbono orgánico (CO), nitrógeno total (N) y la relación	67

(C/N) en los diferentes suelos evaluados	
5.14 Resultados de contenido de sodio (Na^+) en los diferentes suelos evaluados	68
5.15 Resultados de contenido de potasio(K^+) en los diferentes suelos evaluados	69
5.16 Resultados de contenido de calcio (Ca^{2+}) en los diferentes suelos evaluados	70
5.17 Resultados de contenido de magnesio (Mg^{2+}) en los diferentes suelos evaluados	70
5.18 Resultados de contenido de plomo (Pb^{2+}) en los diferentes suelos evaluados	71
5.19 Resultados de contenido de níquel (Ni^{2+}) en los diferentes suelos evaluados	71
5.20 Resultados de humedad (%) en los diferentes órganos de la cebada	72
5.21 Resultados de humedad (%) promedio del follaje por municipio	72
5.22 Resultados de nitrógeno y proteínas (%) en los diferentes órganos de la cebada	73
5.23 Resultados de grasa (%) en los diferentes granos de cebada	74
5.24 Resultados de fibra (%) en los diferentes órganos de la cebada	75
5.25 Resultados de carbohidratos (%) en los diferentes órganos de la cebada	76

1. INTRODUCCIÓN

La cebada ocupa el cuarto lugar en producción a nivel mundial, aunque no es muy consumido por las personas en una aplicación directa. Siendo su principal uso, como materia prima en la industria cervecera, sin embargo, en ocasiones, cuando el grano de cebada no reúne las características para la elaboración de maltas, se destina simplemente a la alimentación del ganado, disminuyendo su costo y utilidad (Márquez-Elías, 2006). Esto requiere en ocasiones de la aplicación de fertilizante nitrogenado, generando que se produzca un rendimiento económicamente aceptable y así satisfacer los requerimientos de calidad para la industria maltera, de lo contrario de no ser así se producirían importantes pérdidas para el productor (Lazzari *et al.*, 2001).

El cultivo de cebada se ve favorecido en suelos fértiles, como todos los cultivos en general (<http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/cebada>, 2010). La cebada prefiere tierras fértiles, pero puede tener buenas producciones en suelos poco profundos y pedregosos, con tal de que no falte el agua al comienzo de su desarrollo (López-Perea *et al.*, 2005). En general todas las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para adaptarse a ciertas condiciones de los suelos, que les permita absorber, transportar y acumular nutrientes, logrando un óptimo desarrollo (Lasat, 2000). Cuando algunos elementos como metales y metaloides se encuentran presentes en los suelos y no son necesarios para el cultivo, pueden resultar bioacumulados en diferentes órganos de la planta, y llegar a ser tóxicos y afectar la calidad del cultivo.

La calidad de un suelo abarca los componentes físicos, químicos y biológicos, así como sus interacciones. Por esto, para captar la naturaleza holística de la calidad, o salud, del suelo, deberán ser medidos todos los parámetros. Sin embargo, no todos los parámetros tienen la misma relevancia para todos los suelos, situaciones o cultivos específicos (USDA, 2000). Evaluar las propiedades del suelo, permitirá determinar su calidad con la finalidad de mejorar la productividad del cultivo y desarrollar mejores prácticas de labranza, fertilización, riego y drenaje (Reynolds *et al.*, 2002).

Introducción

La naturaleza del suelo juega un papel fundamental en la disponibilidad de los micronutrientes. Las tres causas de deficiencia de los micronutrientes son: a) su baja concentración en el suelo, b) presencia de una forma química no asimilable para la planta, y c) efecto antagónico entre distintos elementos. El contenido total de un nutriente en el suelo no siempre se relaciona con la fertilidad química, pero es un indicador a utilizar para tener una aproximación de la riqueza potencial del elemento (Ratto, 2006; Roca *et al.*, 2007).

Los suelos con buena calidad física deben tener características de almacenaje y transmisión de fluidos que permitan proporciones adecuadas de agua, nutrientes disueltos y aire, logrando así el máximo desarrollo de los cultivos. Los suelos con una buena calidad química deben presentar un alto contenido en materia orgánica, alta capacidad de intercambio catiónico, pH cercano a la neutralidad y una baja concentración de sales lo que permitirá una adecuada disponibilidad de nutrientes para los cultivos (Reynolds *et al.*, 2002; Dexter, 2004; Ferreras *et al.*, 2007). La proporción biológica es de suma importancia ya que de esta depende la descomposición y transformación de la materia orgánica en componentes más estables y de vital importancia para el desarrollo de los cultivos (Cepeda, 1991).

La alteración de las condiciones del suelo por las prácticas de manejo puede afectar la producción de los cultivos, por un lado, a través de su influencia en la distribución de la materia orgánica, actividad microbiana y dinámica de nutrientes; y, por otro lado, modificando propiedades físicas del suelo como agregación y porosidad (Martens y Frankenberger, 1992; Salinas-García *et al.*, 1997; Díaz-Zorita *et al.*, 2002; Ferreras *et al.*, 2007).

El objetivo general de este trabajo es evaluar los aspectos que intervienen en el desarrollo del cultivo de cebada maltera en los municipios de Almoloya, Apan y Emiliano Zapata, todos ellos productores en el estado de Hidalgo. Se tendrá en consideración aquellos factores que afectan la calidad del cultivo y sus rendimientos, mediante evaluaciones fisicoquímicas de los suelos y su manejo.

2. ANTECEDENTES

2.1 Suelo

Se entiende por suelo a la superficie de la tierra o la parte de la litósfera que está sometida a la acción de los agentes climáticos, biológicos y por supuesto, a la intervención antropogénica. En esta definición se engloba básicamente la capa superficial, sometida a una evolución permanente, incidencia del factor tiempo y a unas dimensiones en constante interacción con los demás componentes de los ecosistemas en que participa e incide el factor espacio. El término suelo se refiere además, a la región en la que se sustenta la vida vegetal y de la cual las plantas obtienen soporte mecánico y muchos de sus nutrientes (Cong, 1994).

2.2 El suelo como un sistema trifásico

El suelo es un complejo trifásico y dinámico, formado por partículas sólidas, líquidas y gaseosas. Estos elementos conocidos como fases gozan de gran interacción, debido a la enorme cantidad de reacciones químicas que sufren (Cepeda, 1991). Como medio multifásico, es de composición variable en el espacio y el tiempo, al que le afectan fenómenos físicos, químicos, biológicos y climáticos por una parte y por otra la acción del hombre a través de la contaminación (Brissio, 2005).

La fase sólida está formada por material mineral y materia orgánica. La fase líquida o solución del suelo está formada por agua, que puede contener en pequeñas cantidades sales en disolución. La fase gaseosa formada por aire, aunque algunas ocasiones se encuentra metano, en suelos que contienen materia orgánica en descomposición anaerobia (Sowers y Sowers, 1972). En promedio general la materia orgánica del suelo constituye un 5% del suelo, el agua 25%, el aire 25% mientras que la fracción mineral está representada en un 45% (Figura 2.1. y Figura 2.2.).

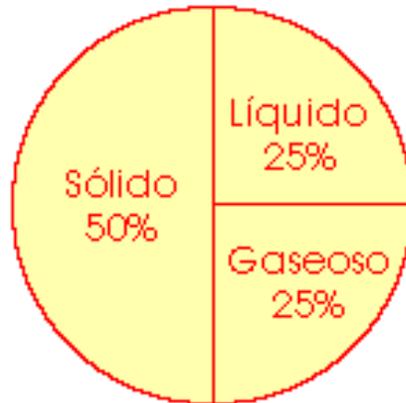


Figura 2.1 Composición porcentual de las fases del suelo (Brissio, 2005).

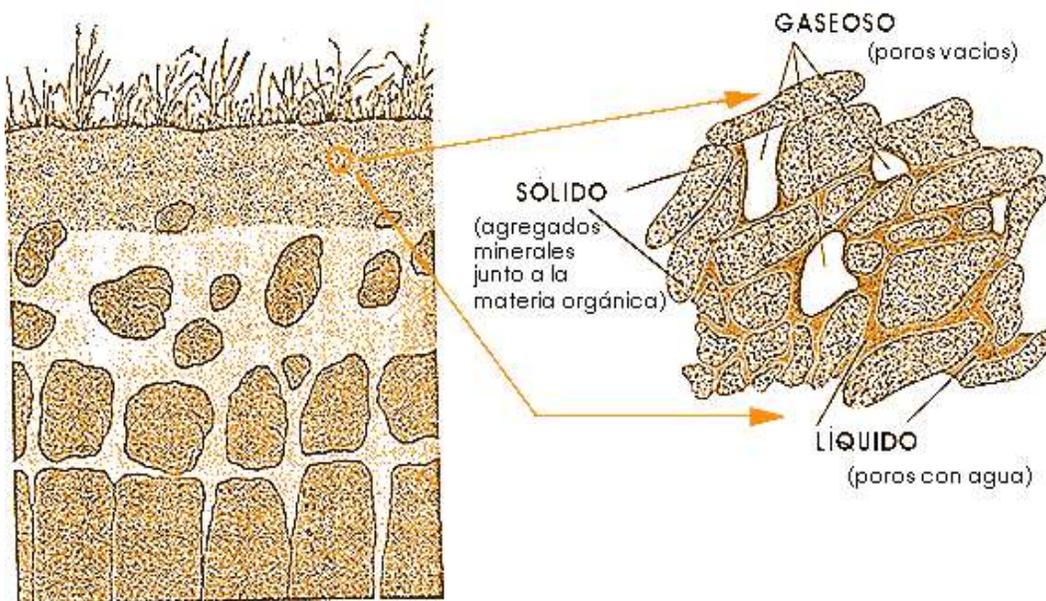


Figura 2.2 Fases del suelo (Brissio, 2005).

Las proporciones de las fases son variables, dependiendo de los materiales originales, de la cantidad de materia orgánica y del contenido de agua en suelo (Cepeda, 1991).

2.2.1 Fase sólida

La fase sólida se compone de material inorgánico y orgánico. Los componentes inorgánicos comprenden a los minerales o rocas. Un mineral es un elemento o compuesto químico presente en la naturaleza y formado por un proceso biológico. Una roca es el material sólido que constituye la corteza exterior de la tierra y está formada por uno o más minerales o cristales (Lambe, 2006). Son principalmente los componentes inorgánicos los que determinan las propiedades de la mayoría de los suelos. Dentro de los componentes orgánicos se incluyen los residuos de las plantas y animales en varias etapas de descomposición, células y tejidos de organismos del suelo y sustancias sintetizadas por sus pobladores. Aunque los componentes orgánicos se encuentran presentes normalmente en cantidades más reducidas que los inorgánicos, pueden modificar significativamente las propiedades del suelo (Bohn *et al.*, 1993).

En general la fase sólida representa la fase más estable del suelo y por tanto es la más representativa y la más ampliamente estudiada. Los suelos se forman a partir de una serie de interacciones entre la roca madre, cuyo papel es estático pero que sufre transformaciones provocadas básicamente por factores exógenos. Así pues, la formación de los suelos se puede expresar en muchos casos con la ecuación de Jenny (Ochoa *et al.*, 2008). La cual señala el suelo como una función compleja:

$$S = f(R, C, B, t, p, h)$$

S = Suelo

R = Roca madre

C = Clima

B = Biología

t= Tiempo

p= Pendiente

h= Acción del hombre

La base de partida es la roca madre o material inicial denominado horizonte C si ha comenzado la edafogénesis o proceso de formación del suelo por acción de los factores citados en la ecuación de Jenny. En superficie, por el contrario, el horizonte O corresponde a un material orgánico en su mayoría, fresco o en descomposición, con una composición de:

- 30% o más de materia orgánica si el contenido es mayor al 50% de arcilla.
- 20% o menos de materia orgánica si no contiene o presenta muy poca arcilla.

A continuación el horizonte A contiene una alta proporción de materia orgánica aportada por el horizonte O que va incorporándose a la materia mineral proveniente de los horizontes superiores. Seguidamente al horizonte A, y si la edafogénesis continua, se forman un horizonte intermedio denominado B que puede originarse por dos vías fundamentales: por acumulación de materiales de grano muy fino proveniente del horizonte A arrastrados por el agua de infiltración, o por alteración directa de los minerales del horizonte C que tienden a emerger.

Como es natural, las variaciones y posibilidades son múltiples. A continuación se presenta la tabla 2.1 en la cual se indica en forma simplificada el grado de evolución del suelo en función a su perfil (Seoáñez, 1999 y Brissio, 2005).

Tabla 2.1 Evolución del perfil del suelo (Seoáñez, 1999; Brissio, 2005).

Perfil	Modo de evolución	Calificación
(A)C	Muy poco evolucionado	Suelo mineral bruto
AC	Poco evolucionado	Suelo poco diferenciado, con materia orgánica
A(B)C	Evolucionado	Suelo evolucionado por alteración
ABC	Muy evolucionado	Suelo evolucionado por alteración y emigración

En la figura 2.3 se muestra a modo de ilustración un esquema donde se aprecian los perfiles del suelo.

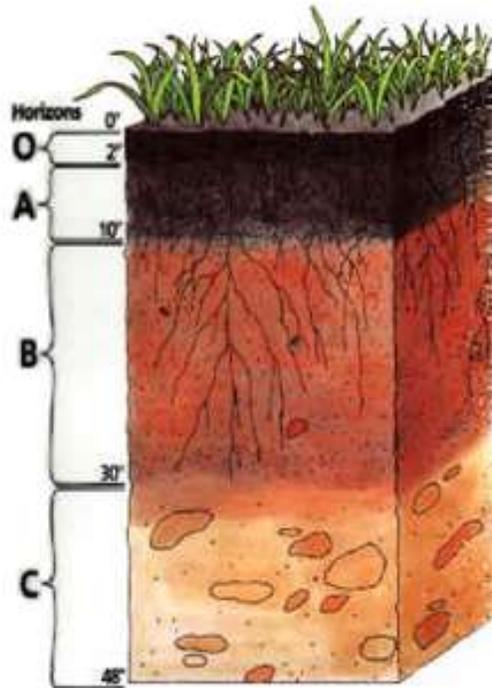


Figura 2.3 Perfiles del suelo (<http://www.ttevisual.com/geography/content4.asp>, 2010).

La materia orgánica tiene una gran importancia en la génesis y fertilidad del suelo (Dorronsoro *et al.*, 2004). Incide directamente en las propiedades físicas, químicas y biológicas:

a) En las propiedades físicas:

- Confiere al suelo un determinado color oscuro.
- Da lugar a una buena estructura, estable. Las sustancias húmicas tienen un poder aglomerante, las cuales se unen a la fracción mineral y dan buenos flóculos en el suelo originando una estructura grumosa estable, de elevada porosidad, lo que implica que la permeabilidad del suelo sea mayor.
- Tiene una gran capacidad de retención de agua lo que facilita el establecimiento de la vegetación, dificultando la acción de los agentes erosivos.

- La temperatura del suelo es mayor debido a que los colores oscuros absorben más radiaciones que los claros.
- Protege al suelo de la erosión. Los restos vegetales y animales depositados sobre la superficie del suelo lo protegen de la erosión hídrica y eólica. Por otra parte, como ya se ha mencionado, el humus tiene un poder aglomerante y da agregados que protegen a sus partículas elementales de la erosión.
- Protege al suelo de la contaminación. La materia orgánica adsorbe plaguicidas y otros contaminantes y evita que estos percolen hacia los acuíferos.

b) En las propiedades químicas:

- Las sustancias húmicas tienen propiedades coloidales, debido a su tamaño y carga (retienen agua, hinchan, contraen, fijan soluciones en superficie, dispersan y floculan). La materia orgánica es por tanto una fase que reacciona con la solución del suelo y con las raíces.
- Capacidad de cambio. La materia orgánica fija iones de la solución del suelo, los cuales quedan débilmente retenidos, están en posición de cambio, evita por tanto que se produzcan pérdidas de nutrientes en el suelo. La capacidad de cambio es de 3 a 5 veces superior a la de las arcillas, es por tanto una buena reserva de nutrientes.
- Influye en el pH produciendo compuestos orgánicos que tienden a acidificar el suelo.
- Influye en el estado de dispersión/floculación del suelo.
- Es un agente de alteración por su carácter ácido. Descompone los minerales.

c) En las propiedades biológicas:

- Realiza un aporte de nutrientes a los microorganismos y sirve como fuente de energía.
- Al degradarse y transformarse libera hormonas que estimulan el desarrollo de la planta.
- Favorece el desarrollo y formación de las raíces.

Por los contenidos de materia orgánica, los suelos son muy variables, siendo los valores más usuales entre 0.5 - 10% (Kabata-Pendias, 2000). En la cantidad y calidad de la materia orgánica intervienen numerosos factores.

- Material orgánico original: cantidad, calidad, edad y tamaño de los restos.
- Características del suelo: presencia de microorganismos, existencia de nutrientes, pH, aireación y minerales.
- Clima: humedad, temperatura y alternancias climáticas, fundamentalmente.

2.2.2 Fase líquida

Esta fase en los suelos se caracteriza por su variabilidad en el espacio y en el tiempo, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo. Esta variabilidad está condicionada por las características de los espacios en que se encuentra y por las propiedades del suelo que la sustenta. Se compone de la cantidad de agua presente en el suelo. Además ésta es dependiente de la naturaleza, intensidad, frecuencia y distribución de la precipitación (Cepeda, 1991).

El agua es la que mantiene a las plantas, intemperiza las rocas, forma los suelos y es el principal medio donde se llevan acabo las reacciones químicas edáficas (Ortega, 1981). La infiltración y la permeabilidad están relacionadas con el tamaño de los poros y la estabilidad de las unidades estructurales de los suelos. Cuando las unidades estructurales son granulares, duras y no se hinchan ni se destruyen cuando se mojan, tienen una velocidad de infiltración inicial, que no se reduce a un valor muy bajo cuando se mojan (Gavande, 1972).

La dinámica general del agua en el suelo, está relacionada con el exterior en lo que se refiere a los aportes, como son las fuentes, la lluvia o la infiltración y en lo que se refiere a las pérdidas, como son la evaporación o la alimentación de las aguas subterráneas (acuíferos y corrientes), generalmente por infiltraciones. Ambos intercambios constituyen el balance hídrico, que tiene como reflejo por una parte el sistema suelo-vegetación-

atmósfera-suelo y por otra la gestión natural, que comprende, entre otras cosas, el almacenamiento o retención en el suelo, indispensable para las plantas y para la hidrológica, y el suministro de líquido a los acuíferos (Seoánez, 1999). El líquido del suelo es fundamentalmente una solución acuosa, y por ello, al contener sustancias en solución, se le llama solución del suelo. Las soluciones del suelo proceden de la alteración de los minerales y de la materia orgánica.

El agua ejerce importantes acciones, tanto para la formación del suelo (interviene decisivamente en la meteorización física y química, y translocación de sustancias) como desde el punto de la fertilidad. La fase líquida circula a través del espacio poroso, quedando retenida en los poros del suelo; está en constante competencia con la fase gaseosa. Los cambios climáticos estacionales, y concretamente las precipitaciones atmosféricas, hacen variar los porcentajes de cada fase en cada momento. En la figura 2.4 se indica un esquema representativo de la distribución de la fase líquida (agua) en los intersticios del suelo.

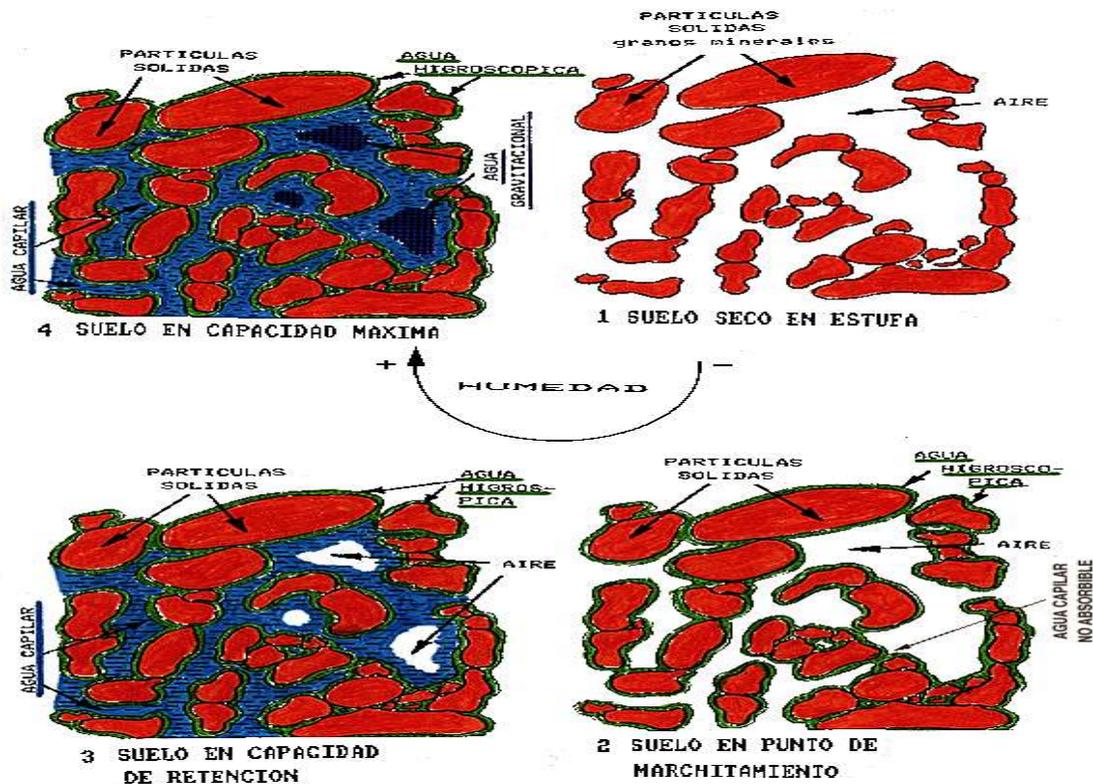


Figura 2.4 Espacio poroso por donde circula la fase líquida en el suelo (Deshpande *et al.*, 2001).

2.2.3 Fase gaseosa

Es la mezcla de gases que ocupa los espacios que la fase líquida deja libres en la porosidad de suelo. Debido a sus características intrínsecas como fluido, la fase gaseosa presenta una marcada similitud con la fase líquida del suelo, sobre todo en lo que se refiere a su dinámica, aunque tiene algunas diferencias con respecto a ésta.

La atmósfera del suelo está condicionada por la dinámica de los procesos biológicos que se producen en relación a ella y que están determinados por el consumo de oxígeno y por la producción de CO₂ que realizan los microorganismos y las plantas durante sus procesos de oxidación. Por ello, la fase gaseosa se compone principalmente de O₂ y CO₂. Este proceso general, conocido como respiración aerobia, hace que la aeración del suelo sea un problema importante cuando se considera el crecimiento de las plantas. La velocidad de difusión de los gases en el suelo está en relación con el tamaño de los poros y las condiciones de drenaje. Si el suelo contiene una cantidad apreciable de agregados, relativamente estables, de tamaño moderado, 1 a 5 mm de diámetro, por lo general tendrá suficientes poros grandes para una aeración adecuada, cuando las condiciones de drenaje son buenas. En suelos con mal drenaje, aun los poros mas grandes estarán llenos de agua y el suelo tendrá aeración inadecuada para el desarrollo de las plantas (Gavande, 1972).

Los distintos procesos biológicos que se producen en el suelo hacen que la fase gaseosa se encuentre sometida a constantes variaciones en su composición. A consecuencia del incremento en la proporción de determinados gases, paralelo al descenso de las proporciones de otros, se produce un desequilibrio entre la composición de la atmósfera del suelo y la del exterior, ambas en contacto directo, compensado por una serie de intercambios entre una y otra que permiten una homogeneización de la composición, y cuya función última es permitir asegurar la vida de los organismos del suelo (Seoánez, 1999).

Un suelo en capacidad máxima de saturación de fase acuosa, no contendrá fase gaseosa mientras que otro en punto de marchitamiento presentará valores muy altos. En condiciones ideales la fase gaseosa representa un 25% del volumen total del suelo. Se admite que un

porcentaje de aire del 10% es insuficiente. La fase gaseosa del suelo se supone que tiene una composición parecida a la del aire atmosférico, pero mucho menos constante. En la tabla 2.2 se presenta un balance de esta composición:

Tabla 2.2 Composición del aire en el suelo (Marcano *et al.*, 1997).

Componente	Composición aire atmosférico %	Composición aire del suelo %
Oxígeno	21	10-20
Nitrógeno	78	78.5-80
CO ₂	0.03	0.2-3
Vapor de Agua	Variable	En saturación

Esta composición media del aire del suelo varía no sólo con la profundidad del aire sino con los cambios estacionales. En los períodos de mayor actividad biológica (primavera y otoño), hay menos O₂ que en el aire y más CO₂. Esto se explica por todos los procesos que tienen lugar en el suelo y que implican el consumo de O₂ y el desprendimiento de CO₂, es decir aquellas reacciones en las que estén implicados todos los organismos del suelo: respiración de las plantas, actividad de microorganismos, procesos de mineralización y procesos de oxidación.

2.3 Parte sólida de los suelos

2.3.1 Proporción inorgánica

La proporción inorgánica varía en dimensión y en composición. Un mineral es un sólido formado inorgánicamente a base de elementos específicos dispuestos en una ordenación estructural característica. La mayoría de los elementos de la corteza terrestre existen en combinación con uno o más de los otros elementos para formar compuestos llamados minerales. Los minerales generalmente existen en mezclas para formar las rocas, de las cuales mediante procesos fisicoquímicos se forma el suelo. Una determinada roca suele contener varios minerales diferentes, los que el suelo formado a partir de ella hereda.

Aproximadamente el 98% de la corteza terrestre está constituida por ocho elementos (Tabla 2.3), de los cuales sólo dos, oxígeno y silicio, constituyen cerca del 75%, mientras muchos elementos importantes en el crecimiento de las plantas y animales existen en cantidades muy pequeñas (Cepeda, 1991).

Tabla 2.3 Principales elementos inorgánicos de la corteza terrestre (Cepeda, 1991).

Oxígeno	46.6 %
Silicio	27.7 %
Aluminio	8.1 %
Hierro	5.0 %
Calcio	3.6 %
Sodio	2.8 %
Potasio	2.6 %
Magnesio	2.1 %

Hay una tendencia general de la mineralogía del suelo hacia la formación de fases minerales que sean estables en las condiciones termodinámicas del mismo, lo cual está condicionado por un lado por el factor composicional, y por otro por el climático, que condiciona la temperatura, la pluviosidad, y la composición de las fases líquida y gaseosa en contacto con el suelo.

Los minerales del suelo pueden provenir de: 1) heredados, como se ha indicado, procedentes de la roca madre que se altera generando el suelo, que serán minerales estables en condiciones atmosféricas, resistentes a la alteración físico-química; y 2) formados durante el proceso edafológico por alteración de los minerales de la roca madre que no sean estables en estas condiciones. Los más importantes, y los condicionantes para su presencia en el suelo serían los siguientes (Tisdale *et al.*, 1993):

- **Cuarzo.** Es un mineral muy común en los suelos, debido a su abundancia natural en la mayor parte de las rocas y su resistencia al ataque químico. El cuarzo confiere al suelo buena parte de su porosidad, debido a que suele estar en forma de granos más

o menos gruesos, lo que permite el desarrollo de la porosidad intergranular. Además, es un componente inerte, muy poco reactivo, del suelo. Suele encontrarse en suelos poco estructurados de textura arenosa.

- **Feldespatos.** Suelen ser componentes minoritarios, heredados o residuales de la roca sobre la que se forma el suelo, pues son metaestables en medio atmosférico, tendiendo a transformarse en minerales de la arcilla. Al igual que el cuarzo, conforman la fracción arenosa del suelo, si bien en este caso le confieren una cierta reactividad.
- **Fragmentos de roca.** Junto con los dos componentes anteriores, conforman la fracción comúnmente más gruesa del suelo, si bien es este caso el tamaño de fragmentos suele ser superior a 2 cm, de forma que el cuarzo y feldespatos suelen constituir la fracción arenosa del suelo, mientras los fragmentos de roca constituyen la fracción de tamaño grava. La naturaleza de los fragmentos está directamente relacionada con la de la roca sobre la que se forma, si bien ocasionalmente el suelo puede contener fragmentos de origen “externo”, como consecuencia de procesos de transporte.
- **Minerales de la arcilla.** Son minerales también muy abundantes en el suelo, constituyendo la matriz general del mismo. Proceden de la roca madre sobre la que se producen los procesos de meteorización, y en función de ello pueden ser muy variados: 1) la illita, equivalente arcilloso de la mica blanca, moscovita, que se forma a partir de feldespatos y micas de rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas; 2) la clorita, que se forma a partir de los minerales ferromagnesianos que pueda contener la roca: biotita, anfíbol, piroxeno, olivino; 3) la pirofilita, que puede formarse a partir de minerales ricos en aluminio en la roca original; 4) menos comunes son los filosilicatos del grupo de las arcillas especiales (esmectita-bentonita, sepiolita, palygorskita), que se forman bajo condiciones climáticas muy específicas, o a partir de rocas de composición muy determinada, y que por sus características especiales confieren al suelo propiedades mecánicas diferentes a las habituales (suelos expansivos, suelos inestables). Los minerales de este grupo juegan un papel muy importante en la textura y en la físico-química del suelo, pues le confieren plasticidad, impermeabilidad, así como otras propiedades mecánicas y de

relación entre el suelo y el agua que contiene, en especial en cuanto a la capacidad de sorción e intercambio iónico que pueda presentar.

2.3.2 Proporción orgánica

La proporción orgánica incluye vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo y por sustancias producidas por los habitantes del mismo. La fracción más estable de la materia orgánica se llama humus, y se obtiene mediante la descomposición de la mayor parte de las sustancias vegetales o animales añadidas al suelo. Una fuente de materia orgánica del suelo es el tejido vegetal. Bajo condiciones naturales, las plantas aéreas y raíces de los árboles, arbustos, hierbas y otras plantas natras, son grandes proveedores de residuos orgánicos. Comúnmente se extrae una buena proporción de las plantas de los suelos cultivados; sin embargo, parte de su tallo, hojas y todas las raíces, son abandonadas en el suelo. Como estos materiales son descompuestos dirigidos por una variedad de organismos del suelo llegan a constituir una parte de los horizontes (Cepeda, 1991).

Al descomponerse los residuos vegetales se convierten en formas estables que se almacenan en el suelo y pueden ser utilizados como alimento por las plantas. Además contribuye al crecimiento de bacterias descomponedores, bacterias nitrificantes, lombrices de tierra y otros pequeños organismos del suelo. Estos microorganismos atacan y digieren los compuestos orgánicos que constituyen la materia viva, reduciéndola a formas más simples. Por ejemplo a partir de las proteínas animales y vegetales la acción de las bacterias forma amoníaco; unas bacterias oxidan el amoniaco para formar nitritos, y otras actúan sobre los nitritos para constituir nitratos, un tipo de compuesto del nitrógeno que puede ser utilizado por las plantas (Castellanos *et al.*, 2000).

Existen dos grandes tipos de humus: el ácido no saturado que es propio de turberas, suelos pobres y ecosistemas con escasa flora bacteriana; los organismos más frecuentes que alberga son hongos y pequeños artrópodos, y el humus saturado o neutro: este tipo es de reacción generalmente alcalina, posee consistencia porosa y se descompone con facilidad.

Es propio de bosques de caducifolios y praderas de clima templado o cálido. Abundan en él las bacterias, las lombrices y los grandes insectos. El humus se encuentra ligado con la arcilla, con la que constituye un material que retiene agua y elementos nutritivos (Dexter, 2004).

La cantidad y la calidad del humus son esenciales para mejorar el valor agrícola de un suelo, ya que fortalece las tierras ligeras y da soltura a las compactas, favoreciendo la descomposición y disgregación de las rocas además sustenta la flora microbiana del suelo. Bajo condiciones naturales, así como en zonas que no han sido nunca perturbadas por cultivo o deforestación, hay un equilibrio entre la cantidad de humus destruido por descomposición total y la materia añadida por la putrefacción de plantas y de cuerpos animales. El laboreo y la siembra sistemática, reduce las cantidades de humus presente en suelos (Fancelli, 2006). La conservación de suelos y el buen manejo de los fertilizantes y la materia orgánica son vitales dentro de las acciones que se deben seguir para lograr la sustentabilidad de los suelos agrícolas. Sin embargo, mantener programas de conservación de suelos no es fácil.

La remoción física de la capa arable y la oxidación de la parte orgánica del suelo por la labranza intensa, reduce el potencial productivo del sistema agrícola al perder éste, capacidad de retención de humedad y nutrientes entre otras cosas características. Además, las propiedades físicas del suelo se alteran al grado de hacer muy difícil su labranza y por lo tanto el manejo agrícola se encarece, disminuyendo la productividad general del suelo. En fin, la pérdida de suelo y de materia orgánica llevan a la desertificación y la pérdida absoluta de regiones agrícolas enteras, cada vez más necesarias en un mundo con mayor demanda de alimentos.

2.3.3 Proporción biológica

La proporción biológica del suelo comprende organismos vegetales y animales cuyo tamaño varía; desde el de bacterias y otras formas microscópicas, hasta el de grandes animales excavadores y raíces de árboles corpulentos. La descomposición es una

particularidad de los organismos del suelo, con frecuencia son los insectos y lombrices que inician el proceso masticando el material, digiriendo parte de él y desmenuzando el resto en fragmentos. Diversas formas microbianas descomponen estos fragmentos, así como desechos y, eventualmente, cuerpos muertos de insectos, lombrices y otros microorganismos. La descomposición es sólo una de las muchas funciones desarrolladas por la vida animal y vegetal; otra es la extracción de agua. La absorción de agua por las plantas reduce mucho la intensidad del lavado y, en consecuencia, ayuda a mantener la fertilidad del suelo (Cepeda, 1991). La cantidad, la diversidad y la actividad de la fauna del suelo y de los microorganismos están directamente relacionadas con los contenidos de la materia orgánica. La figura 2.5 muestra un esquema del proceso de interacción de la actividad microbiana y la materia orgánica y mineral.

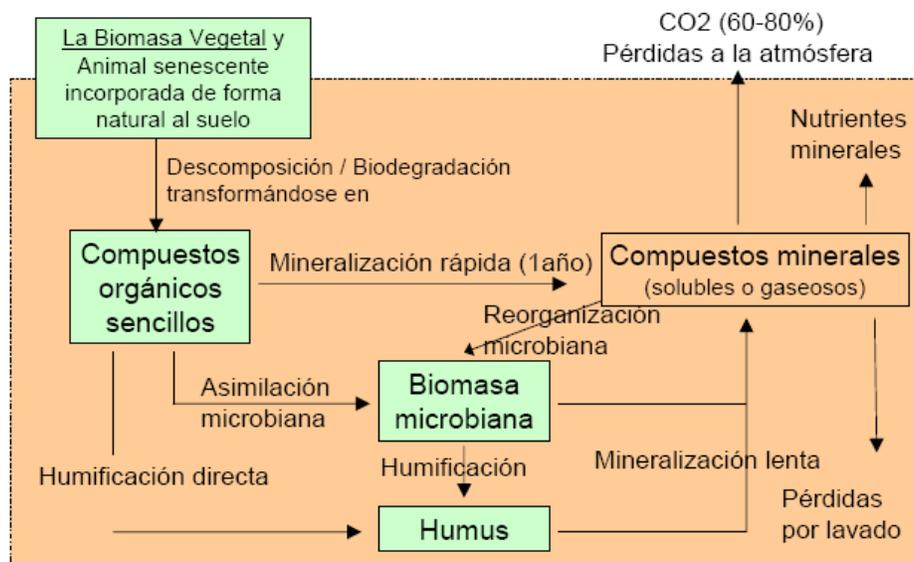


Figura 2.5 Interacción de la materia orgánica (biomasa vegetal) y la actividad microbiana (biomasa microbiana) (<http://www.botanical-online.com/propiedadesnutrientes.htm>, 2011).

La degradación biológica del suelo consiste en la pérdida de materia orgánica por disminución de aportes vegetales, y por el aumento de la tasa de mineralización. Esto es consecuencia principalmente de la erosión hídrica, los malos manejos del suelo en agricultura, el sobrepastoreo y la deforestación. Las consecuencias de la degradación

biológica implican una pérdida de las propiedades del suelo, disminuyendo su fertilidad y su capacidad para producir bienes y servicios.

2.4 Formación del suelo

Al proceso de formación y desarrollo de los suelos se le denomina edafogénesis. Los factores que intervienen en este proceso son: el clima, el relieve, la actividad biológica, la composición litológica y el tiempo. La formación del suelo comienza con el intemperismo que altera a la roca basal. El intemperismo, también llamado meteorización, es la acción de fuerzas físicas, químicas y biológicas que actúan sobre las rocas, causando inicialmente pequeñas grietas que con el transcurso del tiempo se extienden en profundidad, desintegrándola y dando lugar a la formación del material parental, en donde se inicia el proceso de formación del suelo (Aguilera, 1989).

La roca madre constituye el aporte de elementos minerales cuando se produce su desintegración y descomposición; finalmente, con el transcurso del tiempo y la acción conjunta del clima, vegetación, aire y agua, se produce la mezcla de los elementos entre sí (Castellanos *et al.*, 2000). El agua ejerce también importantes acciones, para la formación del suelo (interviene decisivamente en la meteorización física y química, y translocación de sustancias).

Se pueden distinguir una serie de fases en el proceso de formación de los suelos (Cepeda, 1991; Cong, 1994; Castellanos *et al.*, 2000), la cual dura una media de 500 años, dependiendo de las características climatológicas del lugar:

- Meteorización de la roca madre.
- Acción química inorgánica.
- Acción biológica.
- Acción conjunta de todas las materias orgánicas e inorgánicas.

2.4.1 Meteorización de las rocas

La meteorización de las rocas es la fragmentación de la masa de la roca en pedazos más pequeños por procesos naturales, físicos, químicos o de solución. La meteorización física o mecánica es una combinación de romper, astillar y moler, que reduce la roca a pedazos cada vez más pequeños, pero que conservan su composición mineral original. Las causas de este fenómeno son las siguientes: la congelación del agua acumulada en las grietas y poros, el choque del agua, el desgaste o abrasión producido por las gravas y cantos rodados que acarrear los torrentes y ríos, el golpear de las arenas que acarrear los vientos desérticos, la expansión y contracción de la roca por violentos cambios de temperatura. La meteorización química o descomposición es una alteración química de los minerales de la roca para formar nuevos minerales, que generalmente tienen propiedades físicas y químicas completamente diferentes de los que les dieron origen. Esta alteración es causada por la reacción de los minerales con el agua, el anhídrido carbónico y el oxígeno del aire, los ácidos orgánicos de las plantas en descomposición y las sales disueltas que se encuentran en el agua. La solución es el proceso por el cual los minerales solubles de la roca se disuelven dejando como residuos los minerales insolubles. Estos tres procesos ocurren simultáneamente, pero con diferentes intensidades que dependen del clima, la topografía y la composición de la roca original (Sowers y Sowers, 1972).

En general las partículas de arena y limo se forman por la meteorización física de las rocas, mientras que las partículas arcillosas proceden de la alteración química de las mismas. La formación de partículas arcillosas a partir de las rocas puede producirse, bien por combinación de elementos en disolución o por la descomposición química de otros minerales (Lambe, 2006).

2.4.2 Evolución del suelo

La meteorización es un proceso durante el cual las transformaciones físico-químicas van acompañadas de evoluciones en los suelos tales como procesos de hidrólisis, oxidación, reducción, carbonatación y disolución, después que se han establecido los microorganismos

y plantas superiores; tiende a la acumulación de materia orgánica sobre y dentro de la capa superficial del suelo. Se considera que en esta etapa realmente comienza la génesis y evolución del suelo. No puede formarse un verdadero suelo sin la presencia y destrucción parcial de la materia orgánica (Aguilera, 1989).

2.5 Factores que intervienen en la formación del suelo

La influencia de la meteorización es evidente en todas partes, nada es ajeno a ella: rompe las rocas, modifica sus características químicas y físicas, y arrastra tanto productos solubles como algunos sólidos. Los procesos de meteorización son, fundamentalmente de naturaleza destructiva y ayudan a cambiar las rocas consolidadas en material no consolidado (material originario). Los procesos de formación del suelo son constructivos y dan como resultado una configuración desarrollada a partir del material original. En cualquier ubicación específica sobre la tierra actúan cinco factores cuya importancia varía dentro del proceso de formación del suelo (Cepeda, 1991).

2.5.1 Clima

El clima resulta ser el factor dominante en la formación del suelo; influye en gran medida por la precipitación y la temperatura. La precipitación regula, fundamentalmente el régimen de humedad y aire del suelo. La naturaleza, intensidad, frecuencia y distribución de la precipitación influye en el curso de la formación del suelo; así una percolación excesiva dará como resultado lixiviaciones abundantes de metales alcalinos y alcalinotérreos (Na, K, Ca, Mg, etc.) y en casos extremos, desplazamiento de ciertos horizontes. La temperatura afecta a la velocidad de reacciones químicas influye en la descomposición de la materia orgánica y en las actividades microbiológicas del suelo (Cepeda, 1991).

2.5.2 Topografía

La topografía influye en el suelo de muchas maneras: en el espesor del suelo a menudo está determinado por la naturaleza del relieve. En las zonas planas o de pendiente suave, el

material permanece inmóvil y forma suelos de gran espesor; pero en las pendientes más pronunciadas aumenta la erosión y se originan suelos delgados y pedregosos (Fitz, 1996). Interviene en el arrastre de partículas, las cuales se depositan en partes bajas afectando la composición química del mismo. Las diferencias de nivel de un terreno afectan la distribución, retención y drenaje del agua superficial y, consecuentemente, regulan su acción en el intemperismo del suelo (Cepeda, 1991).

2.5.3 Organismos

Casi todos los organismos que viven en la superficie de la Tierra o dentro del suelo afectan de una u otra manera el desarrollo de los suelos (Fitz, 1996).

2.5.3.1 Plantas superiores

Influyen sobre el suelo de muchas maneras, disminuyen las pérdidas por percolación de los nutrimentos en su forma soluble (Cepeda, 1991). Al extender sus raíces, actúan como retenes que impiden la erosión. Las raíces crecen dentro de las grietas de las rocas, las que eventualmente logran romper. Cuando las plantas mueren, sus raíces se degradan y dejan un reticulado de pasajes por donde el agua y el aire pueden circular libremente. La mayor contribución de las plantas superiores, es de proporcionar materia orgánica a la superficie del suelo (Fitz, 1996).

2.5.3.2 Vertebrados

Algunos mamíferos, entre los que se incluyen conejos, topes y perros de la pradera, cavan profundos pasajes dentro del suelo, lo que ocasiona una mezcla considerable de material y frecuentemente lo acarrearán del subsuelo a la superficie (Fitz, 1996). Su materia fecal fertiliza el suelo además cuando estos mueren aportan materia orgánica.

2.5.3.3 Mesofauna

Este grupo incluye a las lombrices, miriápodos, termitas y hormigas entre otros. La mesofauna esta relacionada principalmente con la ingestión y descomposición de la materia orgánica. Además muchas lombrices y termitas ingieren material tanto mineral como orgánico y por lo tanto su material fecal es una mezcla homogénea de estas dos sustancias. También transportan el material de un lugar a otro y forman pasajes que aumentan el drenaje y la aireación del suelo (Fitz, 1996).

2.5.3.4 Microorganismos

Los microorganismos predominantes del suelo son las bacterias, hongos, actinomicetos, algas y los virus. Juegan un papel primordial en la descomposición de la materia orgánica. Proporcionan los primeros desechos orgánicos y son los iniciadores de los ciclos del carbono y del nitrógeno (Fitz, 1996).

2.5.4 Tiempo

El tiempo constituye un factor importante en el suelo, de tal modo que los suelos más antiguos son los que muestran un mayor desarrollo en profundidad del perfil y una mayor diversificación de horizontes. La velocidad de formación del suelo va desde 1 mm/año hasta 0,001 mm/año. Las propiedades del suelo pueden variar en función del momento, del día o el año, además de la existencia de cambios muy lentos que necesitan decenas o cientos de años para producirse (Jordán, 2006).

2.5.5 Material de origen

Los suelos proceden generalmente del intemperismo de las rocas, por lo cual los minerales más abundantes en los suelos son los propios de las rocas (Lambe, 2006). La naturaleza del material original condiciona las propiedades químicas y físicas del suelo. La influencia del material original se pone de manifiesto en propiedades como el color, la textura, la

estructura, la acidez y otras muchas propiedades del suelo. Las rocas que contengan abundantes minerales inestables evolucionarán fácil y rápidamente para formar suelos, mientras que aquellas otras, como las arenas maduras, que sólo contienen minerales muy estables, como el cuarzo, apenas si llegan a edafizarse aunque estén expuestas durante largo tiempo a la meteorización.

2.6 Análisis físicos y químicos de los suelos

El conocimiento de las diferentes fases del origen del suelo, su clasificación y descripción se estiman importantes para determinar su naturaleza. Sin embargo para entender su relación con las plantas superiores es de suma importancia conocer sus propiedades mediante análisis físico-químicos (Aguilera, 1989). Los resultados de los análisis pueden aclarar problemas relacionados con la fertilidad y nutrición vegetal (Cepeda 1991). Además de permitir establecer fuentes de variación en la productividad, encontrar medidas que coadyuven a la conservación y aumento de la productividad (Aguilera, 1989).

2.6.1 Análisis físicos

2.6.1.1 Textura

El tamaño relativo de las partículas del suelo se expresa mediante el término textura, el cual se refiere al grado de finura o al grosor de las mismas. Más específicamente, la textura es la proporción relativa de arena, limo y arcilla. La magnitud de muchas reacciones físicas y químicas en los suelos esta influenciada por la textura, ya que ésta determina el tamaño de la superficie sobre la cual ocurren dichas reacciones (Aguilera, 1989). La textura permite determinar la facilidad de abastecimiento de nutrientes, agua y aire (Gavande, 1972).

2.6.1.2 Densidad real

En el suelo, como en cualquier otro cuerpo físico, la densidad se define como la masa por unidad de volumen. Ahora bien, dado su carácter poroso, conviene distinguir entre la

densidad de sus componentes sólidos y la del conjunto del suelo, incluyendo los huecos, por ello se hace referencia a dos tipos de densidad: la real y la aparente.

La densidad real se define como el peso de las partículas sólidas de un volumen conocido comparado con el peso de un volumen igual de agua; también se define como el peso por unidad de volumen. La densidad real permite diferenciar la evolución de los horizontes con base en sus materiales litológicos (Aguilera, 1989).

2.6.1.3 Densidad aparente

Es la medida en peso de suelo por unidad de volumen. La densidad aparente está relacionada con el peso específico de las partículas minerales y las partículas orgánicas así como la porosidad de los suelos. La densidad aparente nos permite calcular los movimientos de humedad, los grados de formación de arcilla y la acumulación de carbonatos en los perfiles de los suelos (Aguilera, 1989).

Su valor permite establecer equivalencias entre las relaciones masa/masa, que son la forma habitual de medir los parámetros del suelo, y las masa/superficie que son las utilizadas en la aplicación de aditivos al mismo para corregir sus deficiencias.

Si se quiere adicionar un determinado porcentaje de un elemento establecido, se deberá conocer la masa de suelo que corresponde a una superficie definida para un espesor concreto. Usualmente se utiliza como unidad de superficie la hectárea y como profundidad la correspondiente a la capa arable que se establece como promedio en 30 cm. De este modo, la masa de una hectárea puede ser calculada multiplicando la densidad aparente por su volumen, que vendría expresado por el producto del espesor deseado en metros multiplicado por 10.000 que es su superficie en metros cuadrados. En este caso la densidad debería expresarse en ton/m^3 y el resultado final quedaría en ton/ha . Una vez conocido ese valor ya es posible aplicar cualquier relación masa/masa obtenida en la determinación del parámetro a corregir, sin más que adecuar convenientemente las unidades (Fancelli, 2006).

2.6.1.4 Espacio poroso

El espacio poroso (porosidad), es importante por que en estos se encuentra el agua y aire los cuales son de fundamental importancia para el idóneo desarrollo de las plantas. Además agua y el aire se mueven a través de los espacios porosos, por lo tanto la provisión de agua y oxígeno para el crecimiento de las plantas y la tasa de movimiento del agua en el suelo están relacionados con la cantidad y tamaño de los poros presentes en el suelo (Aguilera, 1989).

2.6.1.5 Agua higroscópica

Es el agua retenida de la humedad atmosférica con mucha fuerza en los microporos (0.2-10 μm), la cual forma una película que recubre a las partículas del suelo. No está sometida a movimiento y no es asimilable por las plantas. Cuando el contenido de agua es igual o menor al contenido de agua higroscópica, las plantas no tienen agua disponible y mueren (Jordán, 2006). Está fuertemente retenida a fuerzas superiores a 31 atmósferas ($> 3250 \text{ g/cm}^2$), que equivale a pF (-log columna de H_2O en cm) de 4.5. El pF representa la succión ejercida por un suelo y se define mediante el llamado índice de succión $\text{pF} = \log_{10} hC$, siendo hC la altura capilar (en cm). El pF puede variar entre 0 y 7, decrece para un mismo suelo, al aumentar la humedad. Las medidas de fuerzas de retención del agua del suelo llegan hasta 16000 gr/cm^2 (una fuerza de 1000 gr/cm^2 equivale a un pF de 3).

2.6.1.6 Capacidad de campo

Es la máxima cantidad de agua retenida por el suelo (agua capilar y agua higroscópica), contra la fuerza de gravedad. Se encuentra en tubos capilares de 0.2-30 μm (Jordán, 2006). La capacidad de campo nos permite realizar cálculos prácticos de cantidades aprovechables de agua. Como consecuencia del sistema dinámico y de los muchos factores dominantes, la capacidad de campo debe considerarse como característica de las condiciones del campo (Gavande, 1972).

2.6.1.7 Agua capilar

Es el agua retenida en los mesoporos (10-30 μm), Es un agua absorbible por las plantas, constituye la reserva durante los períodos secos. Está fuertemente absorbida; la fuerza de retención varía entre 1 a 15 atmósferas y se extrae a pF de 4 a 4.2 (Jordán, 2006).

2.6.2 Análisis químicos

2.6.2.1 pH

El pH puede definirse como la medida de la cantidad de iones hidrógeno o su concentración en solución acuosa, dando al suelo un carácter ácido, neutro o básico. El pH del suelo se ve afectado por el lavado el cual elimina las bases del suelo y por lo tanto, tiende a provocar, con el tiempo un descenso en el pH (Cepeda, 1991). La reacción del suelo es de suma importancia debido a que los microorganismos y plantas superiores responden notablemente a su medio químico (Aguilera, 1989).

2.6.2.2 Conductividad

La conductividad puede definirse como la medida de la cantidad de sales presentes en el suelo. Los aniones predominantes son: bicarbonatos, carbonatos, sulfatos y cloruros (Fitz, 1996). El origen de las sales existentes en el suelo es la exposición al ambiente de las rocas y los minerales de la corteza terrestre de donde se han liberado sales durante la meteorización física y química. En las regiones húmedas el agua de las lluvias que se filtra en el suelo, acarrea sales solubles y finalmente, las transporta al océano. En regiones donde las precipitaciones son escasas, no hay lixiviación de las sales, provocando con el tiempo que las sales se acumulen hasta niveles perjudiciales para el desarrollo de las plantas (Bohn *et al.*, 1993).

2.6.2.3 Materia orgánica

La materia orgánica se define como la fracción del suelo que incluye vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en suelo y sustancias producidas por los habitantes del mismo. La presencia de materia orgánica en los suelos, es de suma importancia, ya que ésta interviene en la regulación de los procesos químicos que allí ocurren, influye sobre las características físicas además de ser el centro de casi todas las actividades biológicas del mismo (Cepeda, 1991). La dinámica de este complejo sistema está determinada por: el continuo aporte del suelo de restos orgánicos de origen vegetal y animal. Los compuestos orgánicos sufren primeramente una alteración mecánica, por acción de la fauna y los microorganismos del suelo. Su continua transformación bajo la acción de factores de tipo biológico, físico y químico. Por ejemplo las moléculas orgánicas complejas, proteínas y polisacáridos son degradadas para obtener moléculas más sencillas como aminoácidos y oligosacáridos. Algunos productos de esta degradación pueden sufrir la acción de procesos de reorganización por causa de los microorganismos del suelo (Jordán, 2006).

2.6.2.4 Capacidad de intercambio catiónico

Se define el cambio iónico a los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo, adsorben iones de la fase líquida liberando al mismo tiempo otros iones en cantidades equivalentes, estableciéndose el equilibrio entre ambos (USDA, 2000). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) puede ser definida igualmente como la capacidad total de los coloides del suelo (arcilla y materia orgánica) para intercambiar cationes con la solución del suelo (Reynolds *et al.*, 2002). En la figura 2.6 se muestra un esquema de la CIC.

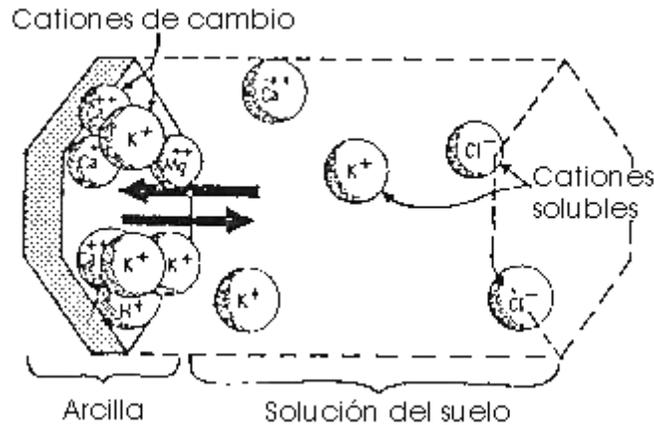


Figura 2.6 Esquema del intercambio de cationes (Seoáñez, 1999).

Es un proceso dinámico que se desarrolla en la superficie de las partículas. Como los iones adsorbidos quedan en posición asimilable constituyen la reserva de nutrientes para las plantas (Seoáñez, 1999).

Las causas que originan el intercambio iónico son los desequilibrios eléctricos de las partículas del suelo. Para neutralizar las cargas se adsorben iones, que se pegan a la superficie de las partículas. Quedan débilmente retenidos sobre las partículas del suelo y se pueden intercambiar con la solución del suelo.

Cuando la concentración en el suelo de un determinado catión disminuye por lavado o por absorción de las raíces, parte de los cationes retenidos en el complejo de cambio pueden desplazarse hacia la solución del suelo para restaurar el equilibrio. Del mismo modo, los cationes dominantes en la solución del suelo pueden competir con éxito frente al resto por los lugares de unión (Jordán, 2006). La carga predominante negativa de los coloides del suelo retiene cationes. Esta retención reduce la pérdida de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ por lixiviación, al mismo tiempo que mantiene estos cationes disponibles para las plantas (Bohn *et al.*, 1993).

En cuanto a los factores que hacen que un suelo tenga una determinada capacidad de cambio de cationes se pueden citar varios (Lambe, 2006):

- Tamaño de las partículas. Cuanto más pequeña sea la partícula, más grande será la capacidad de cambio.

- Naturaleza de las partículas. La composición y estructura de las partículas influirá en las posibilidades de cambio de sus cationes. Así la capacidad de intercambio catiónico de algunos de los materiales más comunes en los suelos se representan en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 CIC de diferentes materiales comunes de los suelos (Dexter, 2004).

Naturaleza de la partícula	CIC meq/100g
Cuarzo y feldespatos	1-2
Óxidos e Hidróxidos de Fe y Al	4
Caolinita	3-15
Ilita y Clorita	10-40
Montmorillonita	80-150
Vermiculita	100-160
Materia orgánica	300-500

La naturaleza del intercambiador confiere mayor o menor capacidad de cambio. Cada un 1% de arcilla puede repercutir en medio miliequivalente en la capacidad de cambio de cationes del suelo. Si en vez de arcilla se hace referencia a la materia orgánica, cada un 1% puede repercutir en 2 miliequivalentes más (Reynolds *et al.*, 2002).

- Tipo de cationes intercambiables. La capacidad de cambio de cationes representa el total de cargas negativas, o lo que es lo mismo el número de cargas positivas que incorporan los cationes que vienen a fijarse. No obstante, la naturaleza de los cationes de cambio puede modificar el valor de la capacidad de cambio, aumentándola o disminuyéndola, en función de su carga y de su tamaño. Los cationes divalentes y/o trivalentes al adsorberse aumentan la capacidad de cationes de cambio, mientras que los cationes de gran tamaño (radicales orgánicos) disminuyen la CIC al bloquear, por su tamaño, posiciones de cambio.

- pH. Los suelos presentan distinta capacidad de cambio en función del pH. Por ejemplo a pH bajos predominan H^+ y Al^{3+} mientras en los suelos alcalinos predominan las bases fundamentalmente el Na^+ y en los neutros el Ca^{2+} .

La relación en el complejo de cambio entre los cationes y el $H^+ + Al^{3+}$, expresado en %, representa el grado de saturación:

$$\% \text{ grado de saturación: } V = S/T \times 100$$

Donde: T = cantidad de bases de cambio $Al^{3+} + H^+$ y S = cantidad de cationes $Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+$. Cuando $V > 50\%$ el suelo está saturado. Si $V < 50\%$ el suelo se encuentra insaturado. Las posiciones de cambio están ocupadas principalmente por H^+ y Al^{3+} ; se trata de un medio pobre en nutrientes. La importancia de la CIC es que controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas (K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , entre otros); interviene en los procesos de floculación-dispersión de arcilla y por consiguiente en el desarrollo de la estructura y estabilidad de los agregados y por último determina el papel del suelo como depurador natural al permitir la retención de elementos contaminantes incorporados al suelo.

2.6.2.5 Metales

A partir del aire y del agua, en las reacciones fotosintéticas, se obtienen de manera combinada el carbono, hidrógeno y oxígeno. Estos compuestos comprenden el 90% o más de la materia seca de la planta. El porcentaje restante comprende otros elementos entre los que se consideran los metales. La mayor parte de los nutrimentos existen en la naturaleza en forma de minerales insolubles o inaprovechables para las plantas, los cuales a través de la intemperización, son absorbidos de la solución del suelo o de la superficie de los coloides (Aguilera, 1989). Con base en la información sobre la composición, propiedades y reacciones químicas que ocurren en el suelo se pueden aclarar problemas relacionados con la fertilidad y la nutrición vegetal (Cepeda, 1991). También nos permite establecer un orden científico que determine las fuentes de variación en la productividad y encontrar medidas que coadyuven a la conservación y aumento de dicha productividad (Aguilera, 1989).

2.7 El cultivo de cebada

La cebada es un cereal de gran importancia que ocupa el cuarto lugar en cuanto a superficies y producciones a escala mundial, después del trigo, arroz y maíz. Su cultivo, como ocurre con otros cereales, se encuentra distribuido prácticamente por todo el mundo. En la antigüedad era aprovechada por el hombre para su alimentación pero debido a las características de los granos (granos vestidos, malas propiedades para panificación) fue remplazada por el trigo. En la actualidad la cebada tiene dos aprovechamientos principales la alimentación animal y como materia prima básica en la elaboración de malta en la fabricación de cerveza (Osca, 2001).

2.7.1 Calidad de la cebada

Los criterios de calidad de la cebada como materia prima para la industria cervecera, interesa que presente un contenido de proteínas entre 8 y 12 % y elevado contenido de hidratos de carbono mayor a 60% (Lazzari *et al.*, 2001). Por su composición proximal el grano de cebada de calidad maltera está constituido en promedio, por carbohidratos en su mayor porcentaje, siendo de éstos la fracción más importante los almidones. En la tabla 2.5 se observa la composición del grano por cada 100 g.

Tabla 2.5 Composición del grano de cebada por 100 g (Serna, 2009).

Composición	%
Proteínas	7.5-15.6
Grasa	1.1-3.1
Hidratos de carbono	70-85
Fibra	3-5.9
Cenizas	2.6-3.1
Humedad	10-14

En la industria cervecera el primer paso en la elaboración de cerveza es la producción de malta (grano germinado y tostado donde el almidón se ha transformado en hidratos de carbono de cadena mas corta), que es la fuente principal de carbohidratos presentes en el mosto que, fermentado por las levaduras, dará lugar a la cerveza (Osca, 2001). Una cebada

cervecera deberá reunir alta calidad maltera, en la tabla 2.6 se indican las características establecidas.

Tabla 2.6 Aspectos físicos y bioquímicos que debe cumplir una cebada de calidad maltera (Osca, 2001; NMX-FF-043-SCFI-2003).

<p>1. Aspectos físicos del grano:</p> <ul style="list-style-type: none">• Tamaño grueso y uniforme.• Forma redondeada.• Cascarella fina y rizada.• Color amarillo claro.• Libre de infecciones de microorganismos.
<p>2. Aspectos Bioquímicos:</p> <ul style="list-style-type: none">• Ausencia de letargo.• Buena capacidad de absorción de agua.• Germinación rápida y uniforme.• Máximo rendimiento en malta.• Desagregación máxima uniforme.• Elevada capacidad proteolítica y citolítica.• Índice de Kolbach (relación porcentual entre el nitrógeno total del grano de la malta y nitrógeno del mosto) elevado y equilibrado.

2.8 Producción de cebada

En la tabla 2.7 se muestran los principales países productores a nivel mundial en cebada de temporal ciclo primavera-verano. Donde México apareció en el lugar 54 en el año 2009 con una producción de 0.534 millones de toneladas.

En México el cultivo de la cebada se orienta básicamente a la elaboración de malta para la producción de cerveza; los principales estados productores de este grano son: Guanajuato (30.8%), Hidalgo (30.4%), Tlaxcala (11.3%) y el Estado de México (7.9%). En el período comprendido entre 2002 y 2008, la producción de cebada ha mostrado una tendencia inestable. Para 2009 se programó sembrar 352 mil hectáreas de cebada, por lo que se estimó obtener una producción de 922 mil toneladas. En lo que se refiere al estado de Hidalgo como segundo estado productor de cebada, entre el año 2002 y 2008 registró una

producción promedio de 213.39 mil toneladas por año. Al cierre de 2008, la producción total fue de 242.09 mil toneladas, 35.8% superior a la producción registrada en 2007. (Financiera Rural, 2009).

Tabla 2.7 Principales países productores a nivel mundial
(http://reportes.siap.gob.mx/Agricola_siap/ResumenProducto., 2009).

Países	Producción año 2009 millones de toneladas
Alemania	13,589.000
Australia	5,893.000
Canadá	11,103.300
República Checa	1,850.000
China	4,000.000
Dinamarca	4,100.000
España	6,944.500
E.E.U.U.	5,737.510
Finlandia	1,850.000
Francia	9,851.000
Irán	1,400.000
Kazajstán	2,330.000
Marruecos	1,216.000
Polonia	3,339.747
Reino Unido	6,690.000
Suecia	1,600.000
Turquía	6,600.000
Ucrania	7,100.000
Uruguay	225.200

En la tabla 2.8 se dan los datos de superficies sembradas y cosechadas a nivel del estado de Hidalgo entre los años 2006 y al 2009. Así mismo los niveles de producción estimados y reales obtenidos en estos años; se observa que entre lo estimado y lo real no existió gran diferencia en el año 2006, siendo éste un año productivo y con solamente un 3% de pérdidas entre lo sembrado y cosechado. Sin embargo en los años 2007 y 2008 no fue así.

Tabla 2.8 Resultados de siembra y cosecha de cebada en los años 2006-2009 en el estado de Hidalgo. Primavera-Verano, sistema de temporal
(<http://www.siap.gob.mx/>, 2009).

CEBADA	Superficie (ha)		Producción (ton)		Rendimiento (ton/ha)	
	Sembrada	Cosechada (% Pérdida)	Estimada	Obtenida	Estimado	Obtenido
Julio 2006	121,556	118,327 (2.7)	270,078	225,124	2.222	2.174
Julio 2007	112,178	105,108 (6.3)	211,168	178,209	1.983	1.695
Julio 2008	118,879	113,303 (4.7)	242,087	198,975	2.206	2.137
Julio 2009	107,676	101,325 (5.9)	202,628	NR	2.018	NR

Cabe destacar que en los municipios de Almoloya, Apan y Emiliano Zapata, del estado de Hidalgo, se alcanzaron los rendimientos más altos a nivel nacional de cebada en grano en el año 2006 (2.8 ton/ha en Almoloya, 2.6 ton/ha en Apan y 2.4 ton/ha en Emiliano Zapata). Para el año 2007 la producción disminuyó apreciablemente y los rendimientos de forma similar experimentaron grandes descensos hasta niveles de 1.8 ton/ha (disminución de un 27% en rendimientos globales). Para los años 2008 y 2009 se estimaron rendimientos entre 2.2 y 2.08 ton/ha para los municipios antes mencionados; sin embargo en el año 2008 sólo se alcanzó rendimientos de 2.0 ton/ha (por debajo de la media Nacional).

2.9 Efectos del suelo en la producción de cebada

La cebada prefiere tierras fértiles, pero puede tener buenas producciones en suelos poco profundos y pedregosos, con tal de que no falte el agua al comienzo de su desarrollo. No le van bien los terrenos demasiado arcillosos y tolera bien el exceso de salinidad en el suelo. Los terrenos compactos no le van bien, dificulta la germinación y las primeras etapas del crecimiento de la planta.

Los suelos arcillosos, húmedos y encharcados, son desfavorables para la cebada, aunque en ellos se pueden obtener altos rendimientos si se realiza un buen laboreo y se conserva la humedad del suelo. Los suelos con excesivo nitrógeno inducen el encamado e incrementan el porcentaje de nitrógeno en el grano hasta niveles inapropiados, cuando se destina a la fabricación de malta para cerveza.

En cuanto al calcio, la cebada es muy tolerante, vegetando bien incluso en suelos muy calizos, por lo que muchas veces a este tipo de suelos es corriente llamarlos “cebaderos”, si bien tiene un amplio margen en cuanto a tolerancia de diferentes valores de pH. A las cebadas malteras les van bien las tierras francas, que no sean pobres en materia orgánica, pero que su contenido en potasio y calcio sea elevado. La cebada es el cereal de mayor tolerancia a la salinidad, estimándose que puede soportar niveles de hasta 8 mmhos/cm, en el extracto de saturación del suelo, sin que sea afectado el rendimiento (López-Perea *et al.*, 2005).

En lo que se refiere a regadío, permite una siembra más tardía que el trigo, siendo una especie muy adecuada para ir detrás de cultivos que pueden ver retrasada su recolección al invierno, como son el maíz, remolacha, etc. A su vez, al recolectarse antes que el trigo, es más adecuada que aquél en aquellas zonas en que pueda sembrarse una segunda cosecha, como maíz o girasol (Aguilar y Schwentesius, 2004).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Determinar las propiedades físico-químicas de los suelos cebaderos de diferentes parcelas, pertenecientes a los municipios de Almoloya, Apan y Emiliano Zapata, mediante técnicas analíticas de fertilidad en suelos, y evaluar mediante análisis proximales la calidad del cultivo de cebada (*Hordeum distichum* L.), con el propósito de conocer calidad o salud de los diferentes suelos y como estos influyen en la calidad del cultivo .

3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar las propiedades físicas de los diferentes suelos: textura, densidad real, densidad aparente, espacio poroso, agua higroscópica, capacidad de campo y agua capilar, mediante técnicas de fertilidad en suelos, con el propósito de conocer su calidad física.
- Evaluar las propiedades químicas de los diferentes suelos: materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, pH, conductividad y metales, mediante técnicas de fertilidad en suelos, con el propósito de conocer su calidad química.
- Evaluar los cultivo de cebada (*Hordeum distichum* L.) cosechados en las diferentes parcelas, mediante análisis proximal, con el propósito de conocer su calidad.
- Realizar un análisis de correlación, en base a los resultados obtenidos de los suelos y cebada, con el propósito de conocer los efectos de los suelos sobre la calidad del cultivo.

4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

4.1 Sitios de muestreo de suelos y cultivos en la zona de estudio

El muestreo se llevó a cabo en los municipios de Almoloya, Apan y Emiliano Zapata del sur del Estado de Hidalgo, en siete parcelas diferentes, tres pertenecientes al municipio de Almoloya (P1, P2 y P3), dos al municipio de Apan (P4 y P5) y dos al municipio de Emiliano Zapata (P6 y P7) (Figura 4.1).

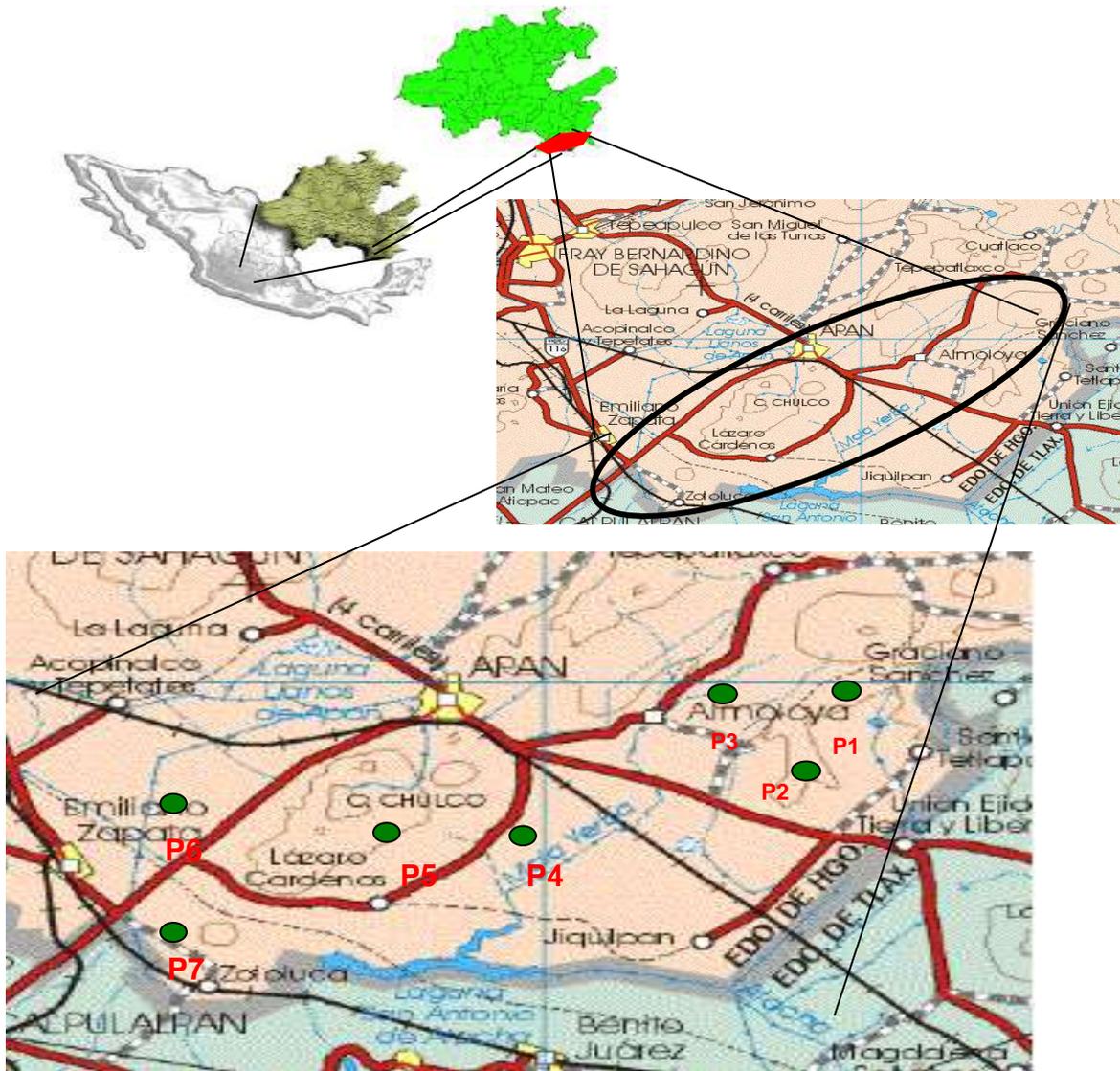


Figura 4.1 Mapa de ubicación (Prieto-Méndez *et al.*, 2011).

La identificación de las parcelas se basó en el nombre con la cual son conocidas en cada ejido. (P1) Sabinal, (P2) Peña y (P3) Vega pertenecientes a Almoloya. (P4) Tío Chano y (P5) Panadera pertenecientes a Apan. (P6) Bonilla I y (P7) Bonilla II pertenecientes a Emiliano Zapata. En la tabla 4.1 se presentan las características geográficas de cada municipio.

Tabla 4.1 Características de los municipios en estudio
(<http://www.ttevisual.com/geography/content4.asp>, 2010).

Municipio	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Temperatura (°C)
Almoloya	19° 45' 14.4"	98° 21' 57"	2 730	12.2
Apan	19° 41' 16.6"	98° 23' 33"	2 547	14.1
E. Zapata	19° 54' 16.0"	98° 53' 4"	2 355	15.4

4.2 Muestreo y cálculo del tamaño de la muestra para suelos

El sitio de colecta se definió en cada parcela por el procedimiento de Zig-Zag. Se eligió al azar el punto de partida para definir el plano (Figura 4.2) Posteriormente se decidió la distancia entre los diferentes puntos de muestreo. La profundidad para la toma de muestra se realizó en la capa arable de los suelos que va de los 20–30 cm (NOM-021-RECNAT-2000).

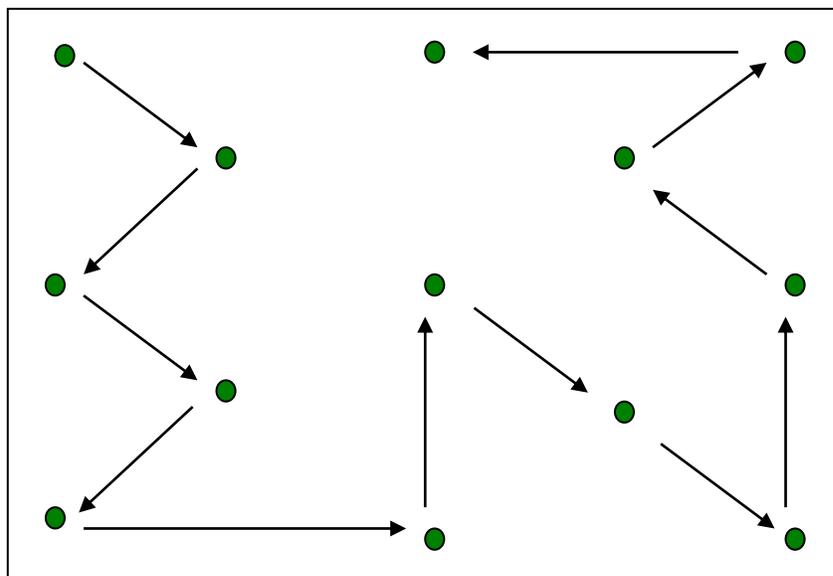


Figura 4.2 Plano de recolección zig-zag

Para definir el tamaño de la muestra por cada parcela, se utilizó la expresión reportada por Tamayo y Tamayo (1998).

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

donde:

n = Tamaño de la muestra

Z = Nivel de confianza = 1.96

p = Probabilidad a favor = 0.70

q = Probabilidad en contra = 0.30

N = Población = 16 564. 62 Kg

e = Error de estimación = 5% = 0.05

Se trabajó con una muestra compuesta conformada por 13 submuestras de entre 25-30 kg. Se homogeneizó dentro de una tina de plástico. Posteriormente se formó una torta circular, la que se dividió en cuatro partes iguales, de las que se desecharon dos cuartos opuestos. Con los dos restantes se repitió este proceso de mezclado, hasta que la muestra final tuvo un peso aproximado de 1.5 Kg por cada parcela a evaluar (NOM-021-RECNAT-2000).

4.3 Tratamiento de la muestra de suelos

La muestra se secó dentro de una tina al aire libre a temperatura ambiente durante 24 h. Una vez seca, se pasó por un tamiz con tamaño de apertura de 2 mm, lo que permitió seleccionar partículas inferiores a este tamaño, esta fineza es conveniente para la mayoría de los análisis requeridos con el propósito de diagnosticar la fertilidad de un suelo (NOM-021-RECNAT-2000). Todos los ensayos y pruebas fueron realizados por triplicado (n=3) como mínimo.

4.4 Métodos de análisis de propiedades físico-químicas de los suelos

4.4.1 Análisis físicos

4.4.1.1 Textura

La muestra previamente fue tratada con agua oxigenada con la finalidad de eliminar la materia orgánica presente ya que ésta actúa como agente cementante entre las diferentes proporciones del suelo (arcilla, limo y arena). Se pesó aproximadamente 20 g de suelo y añadió 40 mL de agua oxigenada al 30% v/v llevando a evaporación hasta sequedad, repitiendo este procedimiento hasta que la mezcla no presentara efervescencia.

Se trabajó con una muestra de aproximadamente 50 g de suelo previamente tratado, se adicionó agua destilada hasta cubrir la superficie con una lámina de 2 cm. Se añadieron 5 mL de oxalato de sodio y 5 mL de metasilicato de sodio. Se dejó reposar durante 15 min con agitación constante. Transcurrido el tiempo, se pasó el contenido a una probeta de 1 L. Ésta se llevó al aforo con agua destilada, a un litro; con el hidrómetro dentro de la suspensión. Posteriormente se retiró el hidrómetro, prosiguiendo con la agitación de la suspensión manualmente durante 1 min e inmediatamente colocando nuevamente el hidrómetro, se tomó la lectura de éste así como la temperatura de la suspensión a los 40 segundos y a las 2 h (NOM-021-RECNAT-2000).

Las lecturas del hidrómetro son corregidas, agregando 0.36 por cada grado centígrado arriba de 19.5° C, restando la misma cantidad por cada grado debajo de dicha temperatura basándose de la tabla de corrección de temperaturas de la NOM-021-RECNAT-2000. La lectura a los 40 segundos multiplicado por 2 es igual al porcentaje de arcilla mas limo. Restando de 100 se obtiene el porcentaje de arena. La lectura obtenida a las 2 h multiplicada por 2 es igual al porcentaje de arcilla. El porcentaje de limo se obtiene por diferencia entre la primera y segunda lectura.

4.4.1.2 Densidad real

En este análisis se emplearon picnómetros a peso constante. Se trabajó con una muestra de aproximadamente 5 g (S), pesada en el picnómetro, el cual se pesó previamente. Se adicionó agua destilada hasta aproximadamente un tercio del volumen del picnómetro, prosiguiendo a agitar con suaves movimientos de rotación, con la finalidad de eliminar el

aire de la suspensión. Se dejó reposar durante 5 min. Transcurrido el tiempo se agitó nuevamente, hasta que al mover la suspensión ya no se formaron burbujas. Se añadió agua destilada hasta lograr que se llenara el picnómetro incluyendo el capilar del tapón, evitando derramar el contenido del picnómetro. Con la ayuda de papel se limpió el exterior del picnómetro, pesando nuevamente (S + a). Se desechó el contenido del picnómetro y enjuagó. Una vez limpio el picnómetro se llenó en su totalidad con agua destilada evitando derramarla, se limpió el exterior del picnómetro y peso nuevamente (A) (NOM-021-REC/NAT-2000). Para los cálculos se utilizó la expresión:

$$DR = \frac{S}{S + A - (S + a)} = (\text{g/cm}^3)$$

donde:

S = Peso de la muestra de suelo

A = Peso del agua sin el del picnómetro

S + a = Peso del suelo + peso del agua (sin el peso del picnómetro)

4.4.1.3 Densidad aparente

Se trabajó con una probeta de 10 mL (P), la cual se pesó previamente. Se agregó muestra hasta la marca de 10 mL. Prosiguiendo con ligeros golpes en la base de la probeta con la mesa donde se trabajó, logrando de esta manera, un mejor acomodo de la muestra, se agregó el suelo necesario hasta lograr que nuevamente la muestra llegara a la marca de 10 mL. Se prosiguió a pesar la probeta con la muestra (P + A) (NOM-021-REC/NAT-2000). Para los cálculos se utilizó la expresión:

$$DA = \frac{(P + A) - P}{\text{Volumen de probeta}} = (\text{g/cm}^3)$$

donde:

P = Peso de la probeta

P + A = Peso de la probeta + peso de la muestra de suelo

4.4.1.4 Espacio poroso

Para determinar el porcentaje de porosidad se requirió de los valores de densidad real y densidad aparente, los cuales se sustituyeron en la siguiente expresión: (NOM-021-REC/NAT-2000).

$$\% EP = 100 - (DA / DR) \times 100$$

donde:

DR = Densidad real

DA = Densidad aparente

4.4.1.5 Agua higroscópica

En este análisis se emplearon crisoles a peso constante. Se trabajó con un crisol previamente pesado (M_1). Se le agregó aproximadamente 5 g de muestra (M_2). El crisol junto con la muestra se colocó dentro de una estufa durante 24 h a una temperatura de 105° C. Trascurrido el tiempo se retiró el crisol de la estufa. Se colocó inmediatamente en un desecador para su enfriamiento y así evitar que absorbiera humedad. Una vez frío el crisol se pesó (M_3) (NOM-021-REC/NAT-2000). Para los cálculos se utilizó la expresión:

$$\% AH = (M_2 - M_3 / M_2 - M_1) \times 100$$

donde:

M_1 = Peso de crisol

M_2 = Peso de crisol + muestra de suelo húmeda

M_3 = Peso de crisol + muestra de suelo seca

4.4.1.6 Capacidad de campo

En este análisis, previamente se tomó un vaso desechable al cual se le hicieron pequeños orificios en la parte de abajo, posteriormente se colocó en esta misma parte del vaso un papel filtro Watman No. 4, perfectamente moldeado a la figura del vaso.

Se trabajó con una muestra de aproximadamente de 60 g, la cual se vació dentro del vaso desechable. Se añadió agua hasta que la muestra se humedeció completamente

(aproximadamente 50 mL), evitando la pérdida de muestra. Se dejó drenar el agua sobrante durante 3 días (72 h). Transcurrido el tiempo, en un crisol previamente llevado a peso constante (M_1), se agregó aproximadamente 5 g de la muestra de suelo que se encontraba en el vaso (M_2). El crisol junto con la muestra se colocó dentro una estufa durante 24 h a una temperatura de 105° C. Trascurrido el tiempo se retiró el crisol de la estufa. Se colocó inmediatamente en un desecador para su enfriamiento y evitar que absorbiera humedad. Una vez frío el crisol se pesó (M_3) (NOM-021-RECNAT-2000). Para los cálculos se utilizó la expresión:

$$\% \text{ CC} = \frac{(M_2 - M_1) - (M_3 - M_1)}{(M_3 - M_1)} \times 100$$

donde:

M_1 = Peso de crisol

M_2 = Peso de crisol + muestra de suelo húmeda

M_3 = Peso de crisol + muestra de suelo seca

4.4.1.7 Agua capilar

Para determinar el porcentaje de agua capilar se requirió de los valores de agua higroscópica y capacidad de campo, los cuales se sustituyeron en la siguiente expresión: (NOM-021-RECNAT-2000).

$$\% \text{ AC} = \% \text{ CC} - \% \text{ AH}$$

donde:

% CC = Porcentaje de capacidad de campo

% AH = Porcentaje de agua higroscópica

4.4.1.8 Tamaños y distribución de partículas coloidales

Los tamaños y distribución de partículas coloidales de los suelos se determinaron a partir de un extracto de saturación (NOM-021-RECNAT-2000). Posteriormente se llevaron a un analizador por rayos Láser de tamaños de partículas (Beckman Coulter™ modelo LS13-320) (Malvern, 2004).

4.4.2 Análisis químicos

4.4.2.1 pH

Previo al análisis se calibró el potenciómetro, con la solución buffer de referencia pH 7 y el buffer pH 4. Se trabajó con una muestra de aproximadamente 10 g. Se añadió 20 mL de agua destilada (relación 1:2 suelo-agua). Con una varilla de vidrio se agitó manualmente en intervalos de 5 min durante 30 min. Se dejó reposar la suspensión durante 24 h. Transcurrido el tiempo se agitó la suspensión e introdujo el electrodo en la suspensión y se registró la lectura hasta que se estabilizó (NOM-021-RECNAT-2000). Estas mediciones se realizaron en un equipo pH-meter Orion modelo 3 Star.

4.4.2.2 pZ

Se trabajó con una muestra de aproximadamente 1g. Se añadió 10 mL de agua destilada (relación 1:10 suelo-agua). Con una varilla de vidrio se agitó manualmente en intervalos de 5 min durante 30 min. Se dejó reposar la suspensión hasta su decantación y la solución sobrenadante fue llevada al equipo zeta-sizer (Malvern, modelo 3000HS_A) para su análisis (Malvern, 2004).

4.4.2.3 Potencial redox y conductividad

Se trabajó con una muestra de aproximadamente 10 g. Se le añadió 20 mL de agua destilada (relación 1:2 suelo-agua). Con una varilla de vidrio se agitó manualmente en intervalos de 5 min durante 30 min. Se dejó reposar la suspensión durante 24 h. Transcurrido el tiempo se agitó nuevamente e introdujo el electrodo en la suspensión para determinar conductividad y potencial redox (NOM-021-RECNAT-2000). Estas mediciones se hicieron en un equipo pH-meter Orion, modelo 3 Star.

4.4.2.4 Carbono orgánico y materia orgánica

Se trabajó con una muestra de suelo de aproximadamente 0.5 g a la cual se le adicionó 10 mL de dicromato de potasio 1 N, se giró el matraz para lograr que entre en contacto con toda la muestra. Se agregaron cuidadosamente 20 mL de H₂SO₄ concentrado, manteniendo en agitación y enfriamiento durante 1 min. Posteriormente se dejó en reposo durante 30 min. Transcurrido el tiempo se añadieron 200 mL de agua destilada y 5 mL de H₃PO₄ concentrado. Se adicionó 1 gota de indicador. Se tituló la suspensión con FeSO₄•H₂O hasta observar un color verde claro (NOM-021-RECNAT-2000). Para los cálculos se utilizó la expresión:

$$\% \text{ Carbono Orgánico} = (B - T / g) (N) (0.39) \text{ mcf}$$

$$\% \text{ Materia Orgánica} = \% \text{ C Orgánico} \times 1.724$$

donde:

B = Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el blanco

T = Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra

N = Normalidad exacta del sulfato ferroso

g = Peso de la muestra en gramos

mcf = Factor de corrección de humedad (0.39)

4.4.2.5 Capacidad de intercambio catiónico

Se trabajó con una muestra de aproximadamente 1g la cual se pesó en un tubo de centrifuga de 50 mL. Se le añadió 25 mL de la solución de cambio A y agitó con una varilla de vidrio durante 2 min. Posteriormente se centrifugó durante 5 min a 3000 rpm. Transcurrido el tiempo se retiró el líquido y se trabajó con el precipitado. Al suelo resultante de las operaciones anteriores se le añadió 25 mL de solución de cambio B y se agitó con una varilla de vidrio durante 1 min Posteriormente se centrifugó igualmente durante 5 min a 3000 rpm. Se tomaron 10 mL de la solución transparente resultante, la cual se colocó en un matraz erlenmeyer de 250 mL. Se le añadió 10 mL de sulfato magnésico y diluyó hasta 100 mL con agua destilada. Se agregó 10 mL de la solución tampón y 3 gotas de indicador

ericromo T. Se valoró con solución complejante (EDTA 0.05 N) hasta aparición de un color azul rey (Primo-Yúfera, 1973). Para los cálculos se consideró la expresión:

$$\text{CIC} = \frac{(M - N) 12.5}{P}$$

donde:

M = Mililitros de solución complejante gastados para valorar 10 mL de solución B

N = Mililitros de solución complejante gastados para valorar la muestra

p = Peso de la muestra en gramos

2.5 = Factor de dilución

4.4.2.6 Nitrógeno total

Se trabajó con una muestra de aproximadamente 0.5 g la cual se introdujo en un frasco micro-Kjeldahl seco. Se adicionó una mezcla de catalizadores: 7g de K₂SO₄, 20 mL de ácido sulfúrico concentrado y 1 g de HgO. Se llevo acabo la digestión hasta que el digestado se tornó claro. Se dejó enfriar y agregó la suficiente agua hasta lograr sumergir el digestado. Se transfirió el contenido del frasco a la cámara de destilación del equipo. Posteriormente se colocó en la salida de la cámara de digestión un matraz Erlenmeyer de 125 mL el cual contenía 10 mL de la solución H₃BO₃ e indicadores. Se adicionaron cuidadosamente 10 mL de NaOH al 50 % v/v de modo que se depositara en el fondo de la cámara de destilación, se conectó el flujo de vapor y se realizó la destilación. Se determinó el nitrógeno amoniacal presente en el destilado titulando con el ácido sulfúrico 2 %. Para los cálculos se utilizó la expresión:

$$\% \text{ N total} = (V_m - V_b) \times N \times 14 / p \times 10$$

donde:

V_m = Volumen de ácido sulfúrico empleado en titular la muestra

V_b = Volumen de ácido sulfúrico empleado en titular blanco

N = Normalidad exacta del ácido sulfúrico

14 = Peso equivalente del nitrógeno

10 = Factor de conversión a porcentaje

P = Peso de la muestra de suelo en g.

4.4.2.7 Metales

A la muestra previamente se le realizó una digestión en un equipo de microondas (TA Instrument modelo Mars-X) para lo cual se trabajó con una muestra de aproximadamente 0.2 g, a la cual se le añadió 5mL de ácido nítrico concentrado, se colocó en el microondas aplicando el método s_suelo-2. El que consistió en tres etapas: Primera etapa; se elevó la presión gradualmente hasta 300 PSI en intervalos de 10 min. Segunda etapa; se mantuvo la presión durante 10 min con una potencia de 1200 W. Tercera etapa; finalmente se dejó enfriar durante 5 min. Una vez tratada la muestra se filtró y aforó a 50 mL con agua desionizada. La determinación de la concentración de metales lixiviados se realizó por espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplada inductivamente (ICP), en un equipo Perkim Helmer modelo Optima 3000 (NOM-021-RECNAT-2000).

4.5 Análisis proximal para el cultivo de cebada

4.5.1. Humedad

En este análisis se emplearon charolas de aluminio a peso constante. Se trabajó con una charola previamente pesada (M_3). Se le agregó aproximadamente de 2g de muestra (M_1). La charola junto con la muestra se colocó dentro de una estufa durante 4 h a una temperatura de 130° C. Trascurrido el tiempo se retiró la charola de la estufa. Se colocó inmediatamente en un desecador para su enfriamiento y así evitar que absorbiera humedad. Una vez fría la charola se pesó (M_2) (925.10:AOAC). Para los cálculos se utilizó la expresión:

$$\% \text{ Humedad} = (M_1 - M_2 / M_1 - M_3) \times 100$$

donde:

M_1 = Peso de la charola + muestra de cebada húmeda

M_2 = Peso de la charola + muestra de cebada seca

M_3 = Peso de la charola

4.5.2 Proteína y nitrógeno

Se trabajo con una muestra seca de aproximadamente 0.20 g. Posteriormente se introdujo en un equipo automatizado (LECO modelo FP-528), el cual utilizó He como gas de transporte, para el control de la presión utilizó aire comprimido y oxígeno para la combustión (990.03;AOAC).

4.5.3 Grasa

Se trabajo con una muestra seca de aproximadamente 0.20 g. Posteriormente se introdujo en un equipo automatizado para extracción de grasas (LECO modelo TFE 2000), el cual utilizó CO₂ supercrítico con una presión de 9000 psi. (920.39;AOAC).

4.5.4 Fibra

Se trabajo con una muestra desengrasada de aproximadamente 2 g. Se coloco en una vaso para digestión y se le agrego 200 mL de H₂SO₄ al 1.25% v/v y cinco gotas de antiespumante. Se sometió a digestión durante 30 min, transcurrido este tiempo se filtró la muestra y se lavo con agua destilada (75 mL) . Posteriormente se volvió a colocar la muestra dentro del vaso de digestión y se le agrego NaOH al 1.25% v/v y nuevamente se llevo a digestión durante 30 min. Transcurrido este tiempo la muestra se filtró y lavo nuevamente con agua destilada. Finalmente el residuo contenido en el filtro se colocó en una capsula de porcelana y se llevó a incineración dentro de una mufla a 600° C durante 4 h (962.09;AOAC). Para los cálculos se utilizó la expresión.

$$\% \text{ Fibra} = \frac{P_1 - P_2}{m} \times 100$$

donde:

P₁ = Peso del crisol + muestra seca

P₂ = Peso del crisol + muestra calcinada

m = Peso de la muestra

4.5.5 Carbohidratos

La determinación de carbohidratos se realizó por cálculo con base a lo propuesto por Blanco *et al.*, (2000), quienes establecen que la sumatoria de los parámetros de cenizas, fibra, grasa y proteínas, restada de cien, es equivalente al porcentaje de carbohidratos totales en la muestra del cultivo u órgano del mismo. De acuerdo con esto, se empleó para el cálculo la expresión:

$$\% \text{ CH} = 100 - \Sigma (\% \text{ cenizas} + \% \text{ fibra} + \% \text{ grasa} + \% \text{ proteína})$$

5. RESULTADOS

5.1 Análisis físicos de suelos

5.1.1 Textura

La textura indica la proporción de las partículas fundamentales del suelo: arcilla (tamaños de < 0.002 mm), limo (tamaños de $0.002 - 0.05$ mm) y arena (tamaños de $0.05 - 2.0$ mm). La textura, influye en la cantidad y disponibilidad de agua y nutrimentos, así como en las condiciones de aireación y drenaje (Castellanos *et al.*, 2000). En la tabla 5.1 se muestra la composición granulométrica obtenida de las diferentes parcelas, así como la textura correspondiente basados en el triángulo de texturas figura 5.1.

Tabla 5.1 Resultados de arcilla, limo y arena en los diferentes suelos evaluados

Parcela	Arcilla %	Limo %	Arena %	Textura
Sabinal (P1) Almoloya	27.80 (1.01)	48.00 (0.70)	24.20 (1.15)	Franca
Peña (P2) Almoloya	16.36 (1.12)	40.00 (0.80)	43.64 (1.07)	Franca
Vega (P3) Almoloya	15.80 (1.09)	40.36 (1.10)	43.84 (0.92)	Franca
Tio Chano (P4) Apan	14.52 (0.70)	41.64 (1.02)	43.84 (0.86)	Franca
Panadera (P5) Apan	18.16 (0.70)	28.00 (1.01)	53.84 (0.56)	Franca Arenosa
Bonilla I (P6) E. Zapata	19.24 (1.00)	31.28 (1.26)	49.48 (0.68)	Franca
Bonilla II (P7) E. Zapata	24.88 (0.90)	37.28 (0.29)	37.84 (1.04)	Franca

(): Desviación estándar

El desarrollo de la cebada se favorece en suelos con textura franca y franca arenosa, debido a que su estructura favorece la germinación de la semilla, al mismo tiempo que permite la aireación y movimiento del agua en el suelo (Parson *et al.*, 2004). En la tabla 5.1 se observa que todas las parcelas cumplen con estas texturas, por lo tanto para éste parametro, los suelos son favorables para el desarrollo óptimo de la cebada. En cuanto a la parcela Sabinal (P1) perteneciente al municipio de Almoloya, presenta una textura franca, pero muy próxima a franca arcillosa, esto le puede conferir una capacidad de agregación entre sí, generando una estructura mas desarrollada, pero con baja porosidad que puede hacerla

impermeable y asfixiante, así como más fácilmente compactable, lo cual dificultaría el desarrollo de las raíces del cultivo (Jordán, 2006).

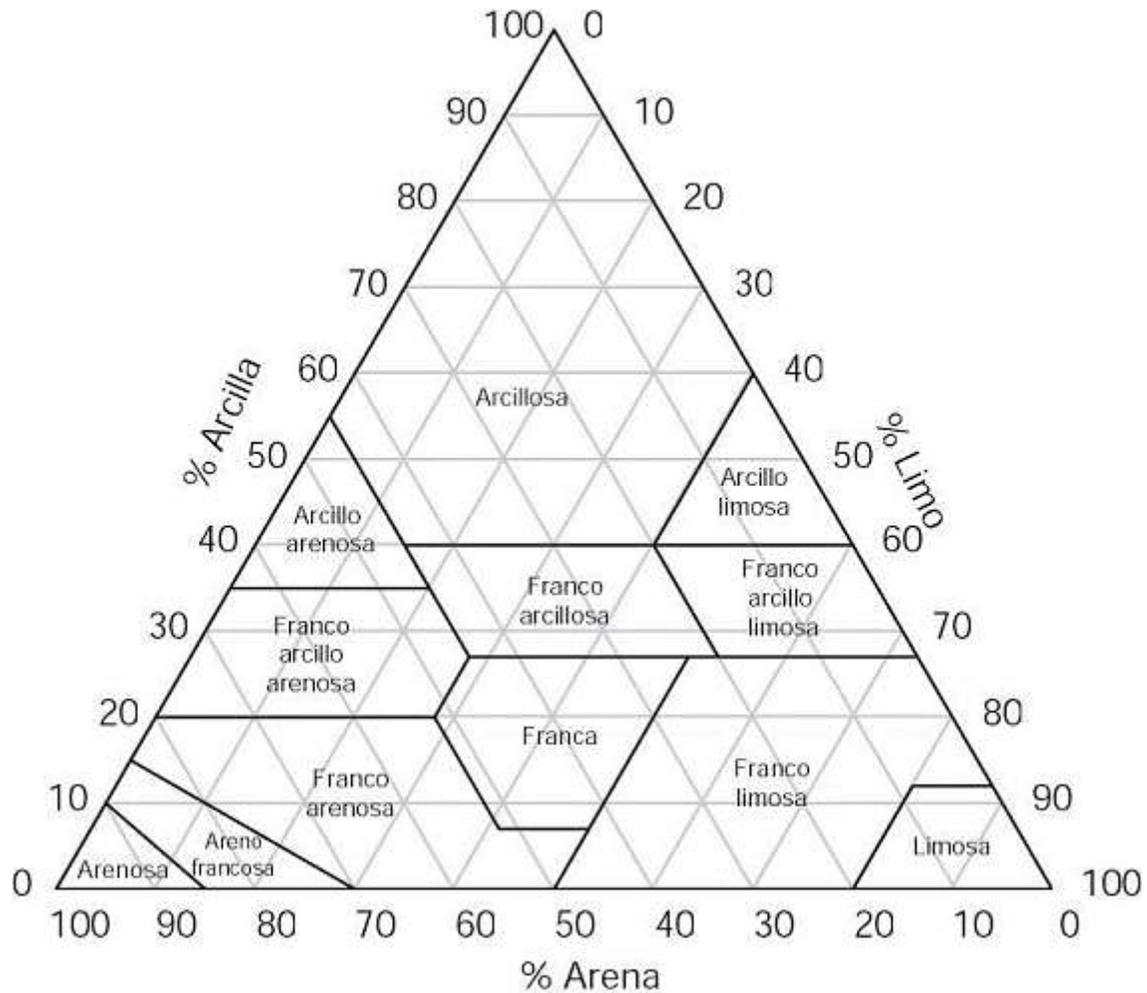


Figura 5.1 Triángulo de texturas (Boulding, 1995).

5.1.2 Densidad real

Es la densidad de los componentes sólidos del suelo, que incluye tanto la fase orgánica como la inorgánica. Permite conocer la evolución del suelo (Aguilera, 1989), debido a que un valor alto representa un contenido mayor de partículas de pequeño tamaño (arcilla y materia orgánica), mientras que un valor bajo representa un contenido mayor de partículas

de gran tamaño (arena y limo). En la tabla 5.2 se presentan los resultados obtenidos de las diferentes parcelas.

Tabla 5.2 Resultados de densidad real (DR) en los diferentes suelos evaluados

Parcela	DR g/cm³
Sabinal (P1) Almoloya	2.27 (0.24)
Peña (P2) Almoloya	2.10 (0.24)
Vega (P3) Almoloya	2.01 (0.02)
Tío Chano (P4) Apan	2.03 (0.09)
Panadera (P5) Apan	2.15 (0.23)
Bonilla I (P6) E. Zapata	2.10 (0.16)
Bonilla II (P7) E. Zapata	2.25 (0.27)

(): Desviación estándar

La densidad real es poco variable en la mayoría de los suelos, donde valores entre 2.60-2.70 g/cm³, se consideran suelos donde prevalecen materiales arcillosos y materia orgánica en tanto valores entre 1.50-2.0 g/cm³ se entiende que prevalecen materiales inorgánicos como el cuarzo y los feldespatos (Aguilera, 1989). El intervalo desde 2.01 a 2.59 g/cm³ se considera que son suelos intermedios entre estas dos condiciones. En la tabla 5.2 se puede observar que la densidad real de las diferentes parcelas, osciló entre 2.01 - 2.27 g/cm³, donde para éste parámetro los suelos serían aptos para lograr un óptimo desarrollo del cultivo. Sin embargo, las parcelas Vega en Almoloya y Tío Chano en Apan, presentan los valores más bajos, lo que es indicativo que su contenido no es bueno en materia orgánica ni arcillas. Las parcelas de Sabinal en Almoloya y Bonilla II en E. Zapata presentan mayores contenidos de arcillas por consiguiente mayores valores de densidad real. Para el resto de las parcelas Peña en Almoloya, Panadera en Apan y Bonilla I en E. Zapata presentan una densidad intermedia lo que es indicativo que su contenido de arcilla y materia orgánica es moderado. Los tres casos antes mencionados se puede correlacionar con los contenidos de arcillas de las diferentes parcelas (Tabla 5.1) y en lo que respecta con el contenido de materia orgánica, por lo que es de esperar que en las parcelas se presenten bajos contenidos.

5.1.3 Densidad aparente

Es la densidad del suelo seco en su conjunto, que incluye tanto a la fase sólida como a la fase gaseosa. Permite conocer la estructura del suelo (Jordán, 2006), debido que un valor bajo representa más porosidad, buena aireación y buen drenaje, mientras que un valor alto representa suelos compactos que afecta la disponibilidad de agua y aire. Esto afectaría la idónea germinación de la semilla y la facilidad que tendría la raíz para penetrar el suelo. En la tabla 5.3 se presentan los resultados obtenidos de las diferentes parcelas. Para determinar la densidad aparente idónea en función de su textura se tomó como referencia la tabla 5.4 (Castellanos *et al.*, 2000).

Tabla 5.3 Resultados de densidad aparente (DA) en los diferentes suelos evaluados

Parcela	DA g/cm³
Sabinal (P1) Almoloya	1.41 (0.01)
Peña (P2) Almoloya	1.36 (0.01)
Vega (P3) Almoloya	1.43 (0.01)
Tio Chano (P4) Apan	1.41 (0.02)
Panadera (P5) Apan	1.46 (0.02)
Bonilla I (P6) E. Zapata	1.42 (0.01)
Bonilla II (P7) E. Zapata	1.39 (0.01)

(): Desviación estándar

Tabla 5.4 Densidad aparente (DA) esperada en función de su textura (Castellanos *et al.*, 2000).

Textura	DA g/cm³
Arena	1.50 - 1.70
Franca Arenosa	1.40 - 1.60
Franca	1.35 - 1.45
Franca Limosa	1.25 - 1.40
Franca Arcillosa	1.20 - 1.35
Arcillosa	1.00 - 1.30

Como se puede observar en la tabla 5.1 que las parcelas clasifican como de textura franca y sólo la parcela Panadera (P5) de Apan, clasifica como franca arenosa, basándonos en la tabla 5.4 se puede decir que las parcelas presentan la densidad aparente correcta. Donde se puede asegurar que para éste parámetro, los suelos son aptos e idóneos para el buen desarrollo del cultivo de cebada donde se facilitará la germinación de la semilla y crecimiento de la raíz.

5.1.4 Espacio poroso

Se denomina porosidad del suelo al espacio no ocupado por sólidos, que permite el movimiento y depósito de gases y líquidos. Los gases permiten la respiración de los organismos del suelo y de las raíces de las plantas. También tiene un papel importante en los procesos de óxido-reducción que tienen lugar en el suelo. El agua constituye la principal fuente para el crecimiento de las plantas además de ser el medio donde se diluyen los nutrientes. La textura y estructura condicionan la porosidad. En suelos arenosos la aireación es fácil, debido a que los poros tienen tamaño suficiente y permiten el drenaje del agua en exceso. En los suelos arcillosos con poros más pequeños la aireación es mejor pero la retención de agua es mayor. Por otro lado el tamaño de los poros es también importante para el crecimiento radicular de las plantas (Jordán, 2006). En la tabla 5.5 se presentan los resultados obtenidos de las diferentes parcelas.

Tabla 5.5 Resultados de espacio poroso (EP) en los diferentes suelos evaluados

Parcela	EP %
Sabinal (P1) Almoloya	37.06 (4.65)
Peña (P2) Almoloya	35.12 (3.42)
Vega (P3) Almoloya	36.68 (0.20)
Tio Chano (P4) Apan	31.71 (4.96)
Panadera (P5) Apan	31.10 (2.80)
Bonilla I (P6) E. Zapata	37.39 (4.27)
Bonilla II (P7) E. Zapata	36.34 (0.33)

(): Desviación estándar

El desarrollo de la cebada se favorece en suelos con estructura granular, que permita una buena aireación y movimiento de agua en el suelo. Normalmente los suelos mejor estructurados con un contenido apreciable de arcilla y materia orgánica poseen una porosidad en torno del 60% (Parsons *et al.*, 2004). En la tabla 5.5 se observa que el porcentaje de espacio poroso de las diferentes parcelas, oscila entre 31.10 - 37.39 %, encontrándose por debajo de la porosidad idónea. Por ello se puede ratificar que son suelos medianamente estructurados y para ésta propiedad física los suelos no son aptos para el desarrollo idóneo del cultivo. Es importante mencionar que las arcillas y la materia orgánica actúan como agentes cementantes, lo que genera que las partículas sólidas del suelo se adhieran entre sí formando estructuras granulares favoreciendo un mayor número de espacios porosos. Por lo tanto el bajo porcentaje de espacio poroso se debe a estos dos factores: se observa en la tabla 5.1. que todas las parcelas tienen un contenido intermedio de partículas arcillosas. En lo que respecta con el contenido de materia orgánica, por lo que es de esperar que las parcelas se presenten bajos contenidos, generando estructuras poco granulares que desfavorecen el número de espacios porosos.

5.1.5 Agua higroscópica

El agua higroscópica o también llamada agua molecular es la fracción del agua absorbida directamente de la humedad del aire y corresponde al valor máximo de agua retenida en la fase sólida del suelo. Debido al carácter bipolar del agua, su extremo es atraído por las cargas negativas de las partículas coloidales (arcilla y materia orgánica) y esta se dispone sobre las partículas del terreno en una capa de 15 a 20 moléculas de espesor y se adhiere a la partícula de forma superficial, donde el poder de succión de las raíces no tiene la fuerza suficiente para extraer esta película de agua del terreno. En otras palabras esta porción del agua en el suelo no es utilizable por las plantas (Jordán, 2006). A esta cantidad de agua se le relaciona con el punto de marchitamiento permanente en donde la planta no tiene agua disponible generando que ésta se marchite irreversiblemente, aun cuando posteriormente se coloque en una atmósfera saturada de humedad (Castellanos *et al.*, 2000). En la tabla 5.6 se presentan los resultados obtenidos de las diferentes parcelas.

Para suelos de textura franca a franca-arenosa el valor del agua higroscópica varía de 2-6%. Se observa en la tabla 5.6 que el porcentaje de agua higroscópica de las diferentes parcelas, osciló entre 2.26 - 3.19 %. Es de suma importancia evitar que el porcentaje de agua llegue a estos valores tan bajos, ya que como se ha mencionado provocaría un marchitamiento permanente a pesar de que la cebada es resistente a periodos prolongados sin agua. La cebada necesita abundante agua principalmente entre los 5 y 10 días después de sembrar, debido a que en este tiempo la semilla empieza a germinar y para lograr una buena germinación, las semillas requieren absorber alrededor de un 40% de humedad (Parsons, *et al.*, 2004). Las partículas coloidales (arcilla y materia orgánica) tienen una gran influencia sobre la capacidad del suelo para retener de agua. Por lo tanto el bajo contenido de agua higroscópica se debe también a estos dos factores: se observa en el apartado 5.1.1 que todas las parcelas tienen un contenido intermedio de partículas arcillosas, sin embargo el contenido de materia orgánica, que como se ha indicado, es de esperar sea bajo, generando una baja capacidad de retención de agua por lo tanto un bajo contenido de agua higroscópica.

Tabla 5.6 Resultados de agua higroscópica (AH) en los diferentes suelos evaluados

Parcela	AH %
Sabinal (P1) Almoloya	2.53 (0.09)
Peña (P2) Almoloya	2.38 (0.21)
Vega (P3) Almoloya	2.26 (0.06)
Tio Chano (P4) Apan	3.19 (0.04)
Panadera (P5) Apan	2.46 (0.26)
Bonilla I (P6) E. Zapata	2.29 (0.09)
Bonilla II (P7) E. Zapata	2.64 (0.02)

(): Desviación estándar

5.1.6 Capacidad de campo

Representa la máxima cantidad de agua (agua capilar y agua higroscópica) que puede ser retenida en un suelo contra la fuerza de gravedad, después de un riego o lluvia que ha humedecido todo el suelo. Al igual que el agua higroscópica, está directamente relacionado

al contenido de arcilla y materia orgánica. A esta cantidad de agua, los poros están totalmente llenos de agua, por esta razón el suelo ya no puede retener mas agua en su estructura (Castellanos *et al*, 2000). En la tabla 5.7 se presentan los resultados obtenidos de las diferentes parcelas.

Para suelos con textura franca arenosa, se reporta que son capaces de retener de 10 a 20% (Castellanos *et al*, 2000); puede destacarse que la parcela Panadera (P5) del municipio de Apan presenta ésta textura, sin embargo dista de alcanzar los valores anteriormente mencionados. En suelos con textura franca, se indican que retendrán de 15 a 30 % (Castellanos *et al*, 2000), las parcelas restantes presentan ésta textura y tampoco alcanzan estos valores, es decir presentan unas cinco veces menos capacidad de campo que lo que se reporta, lo cual permite evidenciar que para éste parámetro las diferentes suelos no resultan favorables para el cultivo de cebada. Las partículas coloidales del suelo (arcilla y materia orgánica) son las encargadas de adsorber el agua. Por lo tanto la baja capacidad de campo se relaciona igualmente a estos dos factores: como se ha mencionado con anterioridad el contenido de arcilla es intermedio en todas las parcelas y el contenido de materia orgánica se espera sea bajo, generando una baja retención de agua por lo tanto una baja capacidad de campo.

Tabla 5.7 Resultados de capacidad de campo (CC) en los diferentes suelos evaluados

Parcela	CC %
Sabinal (P1) Almoloya	3.41 (0.33)
Peña (P2) Almoloya	3.27 (0.71)
Vega (P3) Almoloya	3.28 (0.08)
Tio Chano (P4) Apan	3.89 (1.96)
Panadera (P5) Apan	3.48 (0.25)
Bonilla I (P6) E. Zapata	3.20 (4.14)
Bonilla II (P7) E. Zapata	3.43 (1.58)

(): Desviación estándar

5.1.7 Agua capilar

Representa la capacidad de retención de agua presente en el suelos, que la planta puede disponer (Castellanos *et al.*, 2000). La cantidad de agua de las diferentes parcelas depende directamente de la precipitación y evaporación. El contenido de agua capilar es de suma importancia ya que será la única fuente de agua que tendrá la planta, cuando la precipitación no sea la adecuada. Al igual que el agua higroscópica y la capacidad de campo está directamente relacionada con el contenido de arcilla y materia orgánica. En la tabla 5.8 se presentan los resultados obtenidos de las diferentes parcelas.

Para suelos de textura franca arenosa, se reporta que son capaces de retener de 10 a 13%, y en suelos con textura franca, retendrán de 13 a 18% (Castellanos *et al.*, 2000). En la tabla 5.8 se observa que los valores de agua capilar, oscilaron entre 0.70 - 1.02 %, en donde en base a su textura ninguna de las parcelas presentan el contenido de agua capilar adecuada, sino diez veces menor. Como ya se ha mencionado las partículas coloidales del suelo (arcilla y materia orgánica) son las encargadas de adsorber el agua. Por consiguiente, de nueva cuenta se puede inferir que el bajo contenido de agua capilar se debe a los bajos contenidos de arcilla y materia orgánica, por lo tanto para ésta propiedad física, los suelos no resultan favorables para el desarrollo idóneo del cultivo.

Tabla 5.8 Resultados de agua capilar (AC) en los diferentes suelos evaluados

Parcela	AC %
Sabinal (P1) Almoloya	0.88 (0.62)
Peña (P2) Almoloya	0.89 (0,71)
Vega (P3) Almoloya	1.02 (1.10)
Tio Chano (P4) Apan	0.70 (0.89)
Panadera (P5) Apan	1.02 (0.86)
Bonilla I (P6) E. Zapata	0.91 (0.84)
Bonilla II (P7) E. Zapata	0.79 (0.92)

(): Desviación estándar

5.1.8 Tamaños y distribución de las partículas coloidales

El comportamiento coloidal que tienen determinadas partículas del suelo, beneficia la capacidad para retener agua, favorece la agregación entre la fase sólida del suelo, lo que genera que presente una mejor textura, densidad y porosidad. Además intervienen en la capacidad de intercambio catiónico.

En el gráfico 5.1 se presentan los resultados de las parcelas del municipio de Almoloya; 5.3 las parcelas del municipio de Apan y 5.4 las parcelas del municipio de E. Zapata.

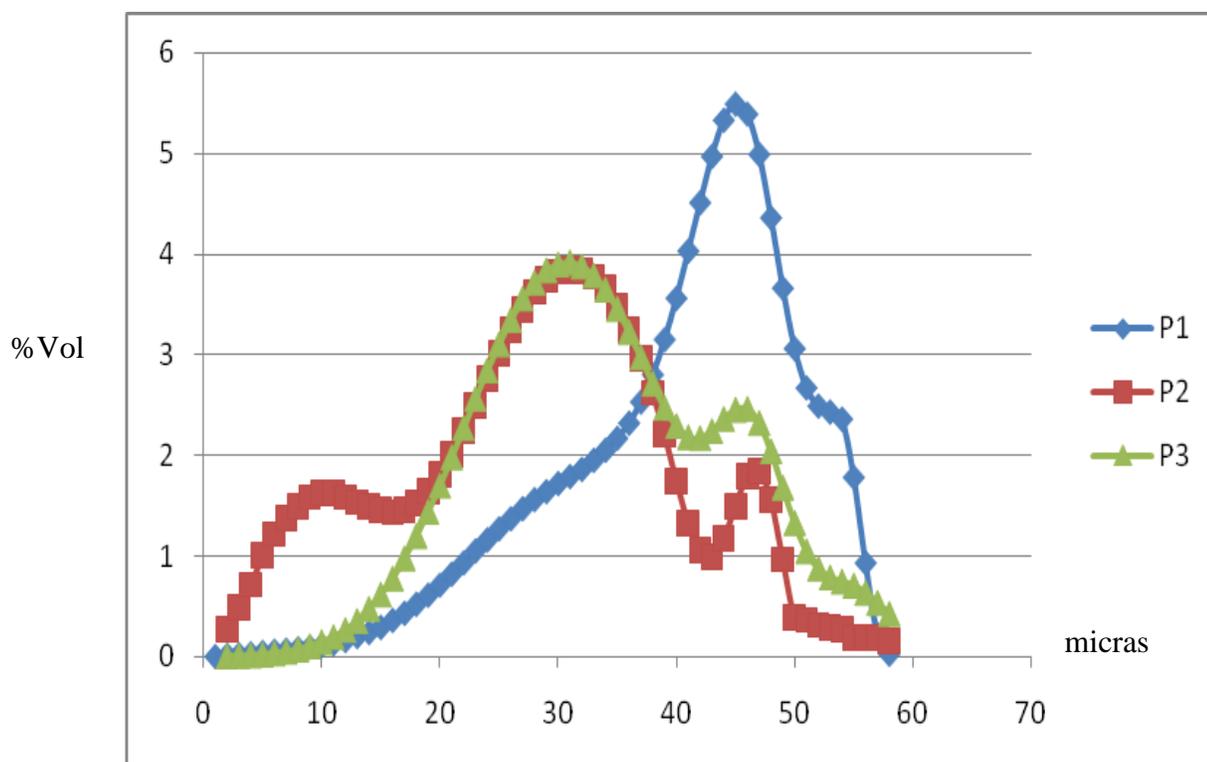


Gráfico 5.1 Distribución y tamaño promedio de las partículas coloidales de las parcelas Sabinal (P1), Peña (P2) y Vega (P3) en el municipio de Almoloya.

En el gráfico 5.1 se aprecia una diferencia importante en los tamaños de partículas coloidales de los suelos de la parcela Sabinal (P1) con respecto a los suelos de las otras dos parcelas. Los suelos de Peña (P2) y Vega (P3), presentan tamaños de partículas coloidales mayoritarias de 31-33 micras, en tanto que los de Sabinal (P1) presentan tamaños

mayoritarios de 46-48 micras. Además los suelos de Peña (P2) y Vega (P3) presentaron otros tamaños mayores de alrededor de 46-48 micras en tanto Sabinal (P1) mostró partículas mayores de 53-55 micras. Con esto se puede determinar que la parcela de Sabinal (P1) tiene partículas de mayor tamaño en comparación con las otras dos parcelas, esto está en correspondencia con el alto porcentaje de espacio poroso que presenta y mayor porcentaje de agua higroscópica y capacidad de campo que presenta esta parcela; por ello se puede inferir que se logran mejores y mayores suspensiones coloidales de las partículas de este suelo.

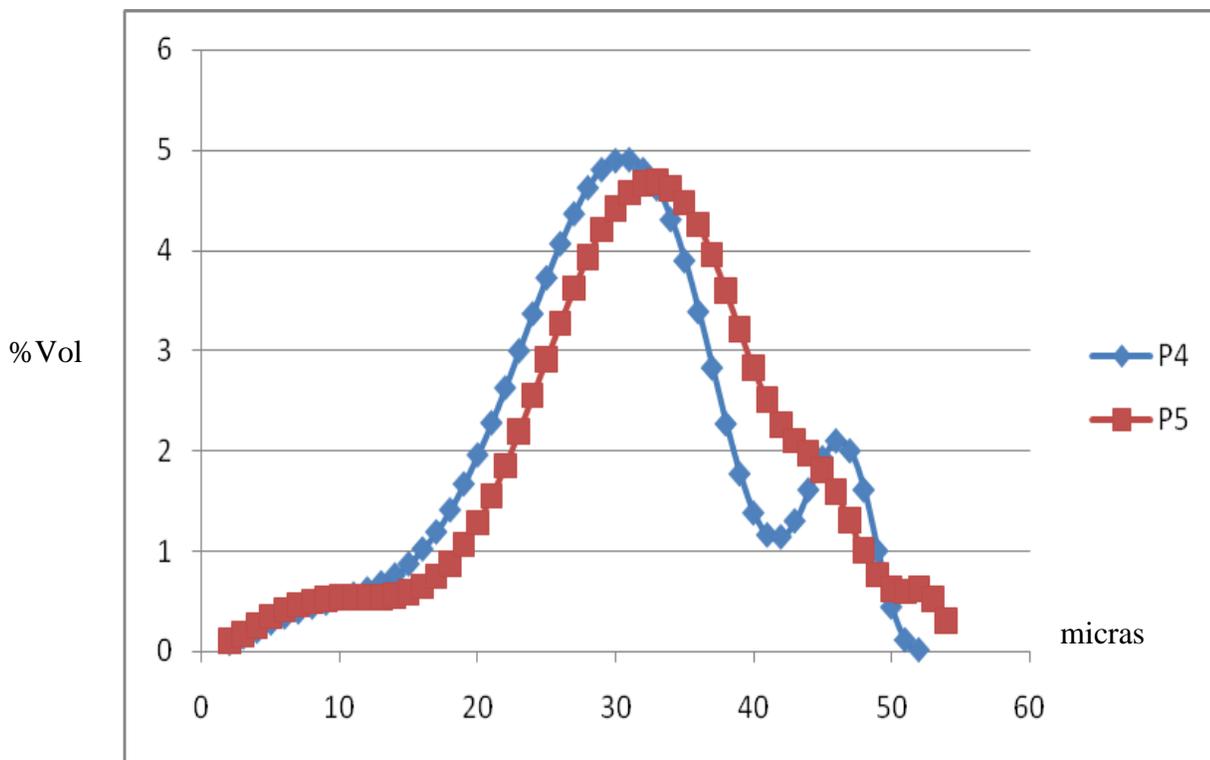


Gráfico 5.2 Distribución y tamaño promedio de las partículas coloidales de las parcelas Tio Chano (P4) y Panadera (P5) en el municipio de Apan.

En el gráfico 5.2 se muestran los suelos de las parcelas Tio Chano (P4) y Panadera (P5) del municipio de Apan, los cuales presentan una gran similitud en los tamaños promedio de las partículas coloidales de los suelos de Peña (P2) y Vega (P3) del municipio de Almoloya, mismos que presentaron bajos contenidos de arcillas (entre 14-18%). Por otro lado ambos suelos mostraron espacios porosos muy parecidos, así como capacidades de campo. Esto

resulta similar a lo reportado por Álvarez *et al.*, (2004) y Bonadeo *et al.*, (2006) en suelos del norte de Buenos Aires, Argentina quienes reportan espacios porosos entre 30-40 % así como capacidades de campo entre 3-5%.

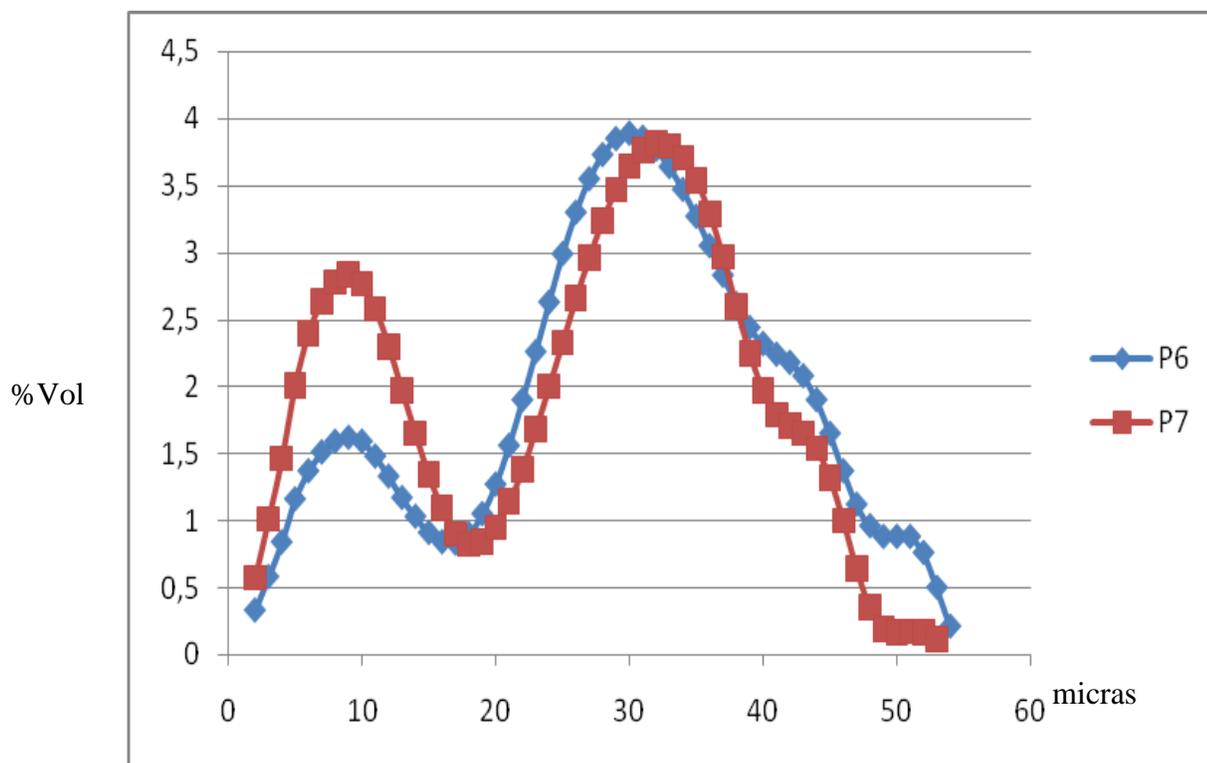


Gráfico 5.3 Distribución y tamaño promedio de las partículas coloidales de las parcelas Bonilla I (P6) y Bonilla II (P7) en el municipio de E. Zapata.

En el gráfico 5.3 se muestran los suelos de las parcelas Bonilla I (P6) y Bonilla II (P7) del municipio de E. Zapata. Los que presentan igualmente tamaños de alrededor de 30-32 micras, pero a diferencia de las parcelas anteriores, éstos mostraron tamaños pequeños alrededor de 8-10 micras, evidencia que indica que tiene bajos contenidos de materia orgánica (Rucks *et al.*, 2004) aunque superiores a las parcelas anteriores.

5.2 Análisis químicos de suelos

5.2.1 Potencial hidrogeno pH, potencial zeta pZ, potencial redox Eh y conductividad

En base a la NOM-021-SEMARNAT-2000 las parcelas Tío Chano (P4), Panadera (P5) del municipio de Apan y Bonilla I (P6) y Bonilla II (P7) del municipio de E. Zapata, se clasifican como neutras, y las parcelas Sabinal (P1), Peña (P2) y Vega (P3) se clasifican como moderadamente ácidas. El desarrollo de la cebada se ve favorecido en suelos alcalinos a ligeramente ácidos (Parsons, 2004). En la tabla 5.9 se observan los resultados de los diferentes suelos los cuales presentan el pH idóneo, por lo tanto en base a éste parámetro son favorables para el cultivo de cebada.

Tabla 5.9 Resultados de pH, Eh, pZ y conductividad en los diferentes suelos evaluados

Parcela	pH	Eh mV	pZ mV	Cond. ds/cm
Sabinal (P1) Almoloya	6.35 (0.02)	-4.05 (0.43)	-25.4 (0.23)	0.27 (0.01)
Peña (P2) Almoloya	6.42 (0.02)	-3.88 (0.45)	-24.3 (0.23)	0.24 (0.02)
Vega (P3) Almoloya	6.45 (0.01)	-3.76 (0.56)	-23.6 (0,24)	0.23 (0.01)
Tío Chano (P4) Apan	6.86 (0.02)	-2.41 (0.64)	-20.5 (0.32)	0.29 (0.01)
Panadera (P5) Apan	6.88 (0.03)	-2.36 (0.40)	-18.7 (0.35)	0.27 (0.01)
Bonilla I (P6) E. Zapata	6.74 (0.02)	-2.65 (0.43)	-18.6 (0.32)	0.37 (0.01)
Bonilla II (P7) E. Zapata	6.77 (0.03)	-2.54 (0.40)	-17.5 (0,25)	0.35 (0.01)

(): Desviación estándar

En la tabla 5.9 se observa los valores de potencial redox (Eh), los cuales indican que los diferentes suelos resultan ser poco reductores, a pesar de estos valores, la cebada es muy tolerante por lo tanto para éste factor la cebada tendría un desarrollo óptimo.

Los valores de potencial zeta (pZ) nos indican la estabilidad que presentan las fracciones coloidales en la fase líquida, donde valores < a -30 mV indican una elevada estabilidad (Malvern, 2004), se observa en la tabla 5.9 que los valores de pZ de los diferentes suelos se encuentran por debajo del valor idóneo por lo tanto se puede decir que estos presentan suspensiones coloidales con una baja y moderada estabilidad; estos resultados y criterios de clasificación se reportan por primera vez para estos suelos dedicados al cultivo de cebada maltera. La estabilidad del suelo sirve como un indicador cualitativo de la actividad biológica, flujo de energía, y desarrollo del ciclo de nutrientes. La agregación de las partículas del suelo debe ser constantemente renovada por los procesos biológicos (USDA, 2000).

En la tabla 5.9 se observan los resultados de conductividad, donde los diferentes suelos presentan valores que van de 0.23 a 0.37 ds/cm. Donde en base a la NOM-021-SEMARNAT-2000, se considera que a éstas concentraciones de sales presentarían efectos despreciables sobre el cultivo. Por lo tanto para éste parámetro los diferentes suelos son óptimos para el desarrollo idóneo de la cebada.

5.2.2 Materia orgánica

La materia orgánica (MO) es la principal variable que afecta las propiedades físicas del suelo. Los suelos con alto contenido de materia orgánica tienden a presentar: color más oscuro, mayor capacidad de retención de agua, favorece el desarrollo de la estructura y aumento de porosidad, disminuye la densidad aparente, debido a su comportamiento coloidal participa en el intercambio catiónico, equilibra el pH, altera los minerales lo que supone su disponibilidad, protege al suelo de la contaminación ya que su comportamiento coloidal adsorbe los contaminantes, importante fuente de nutrientes para algunos microorganismos, al degradarse libera hormonas que actúan sobre las plantas, favorece el desarrollo y formación de las raíces, aumenta la actividad enzimática del suelo, regula el estado óxido-reducción del medio y mantiene estable la proporción de CO₂ en la atmosfera del suelo (Jordán, 2006). En la tabla 5.10 se presentan los resultados obtenidos de las diferentes parcelas. Se puede apreciar que en efecto, los suelos de las parcelas del municipio Almoloya presentan porcentajes de MO superiores a 6.5 % en tanto que las restantes parcelas muestran valores de 6.0 % o menos.

En la tabla 5.10 se puede observar los resultados de materia orgánica para lo cual en base a la NOM-021-RECNAT-2000 los suelos de las parcelas Tío Chano (P4), Panadera (P5), Bonilla I (P6) y Bonilla II (P2), son suelos considerados con un bajo contenido de materia orgánica, mientras las parcelas Sabinal (P1), Peña (P2) y vega (P3), son suelos considerados con un contenido de bajo a medio. Como se ha mencionado la presencia de materia orgánica en los suelos, es de suma importancia, ya que ésta interviene en la regulación de los procesos químicos, en las características físicas además de ser el centro de casi todas las actividades biológicas del mismo, para que un suelo sea considerado con un

alto contenido en materia orgánica debe contener de un 11-16% NOM-021-RECNAT-2000. Cuando su contenido es bajo como en estos suelos, la calidad y salud de los suelos es deficiente provocando que las condiciones no sean las óptimas para el desarrollo óptimo de la cebad.

Tabla 5.10 Resultados de materia orgánica (MO) en los diferentes suelos evaluados

Parcela	MO %
Sabinal (P1) Almoloya	6.64 (0.41)
Peña (P2) Almoloya	6.75 (0.43)
Vega (P3) Almoloya	6.52 (0.45)
Tio Chano (P4) Apan	6.06 (0.90)
Panadera (P5) Apan	5.08 (1.01)
Bonilla I (P6) E. Zapata	5.07 (1.02)
Bonilla II (P7) E. Zapata	5.16 (0.24)

(): Desviación estándar

5.2.3 Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una característica del suelo que se relaciona con su capacidad para retener e intercambiar cationes que sirven como oligoelementos en la nutrición vegetal (Cepeda, 1991). Este complejo está constituido fundamentalmente por arcillas y materia orgánica humidificada que poseen carga negativa, lo que le permite la adsorción de cationes (Jordán, 2006). El pH afecta directamente este parámetro, ya que valores cercanos a la neutralidad, presentan una mayor disponibilidad de nutrientes. Los cationes intercambiables se subdividen en básicos y ácidos. Los básicos son: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ . También el NH_4^+ es un catión que es retenido por los coloides del suelo en el sistema de intercambio. Los cationes ácidos son: Al^{3+} e H^+ y en concentraciones bajas pueden también considerarse como tales al Fe^{2+} y al Mn^{3+} . Los cationes básicos y el amonio son nutrimentos que la planta consume del suelo al intercambiarlos por protones provenientes del interior de la raíz (Jordán, 2006). Los cationes de cambio varían en su facilidad de ser desplazados por otros cationes, de tal manera que la fuerza de adsorción de estos cationes sobre las arcillas del suelo resulta de la

siguiente manera. $Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ = NH_4^+ > Na^+$. En la tabla 5.11 se presentan los resultados obtenidos de las diferentes parcelas.

En la tabla 5.11 se observan los resultados de CIC para lo cual las parcelas Sabinal (P1), Peña (P2), Tío Chano (P4), Panadera (P5), Bonilla I (P6) y Bonilla II (P7), en base a NOM-021-RECNAT-2000 son suelos considerados con una alta capacidad de intercambio. Mientras la parcela Vega (P3), en base a NOM-021-RECNAT-2000 es un suelo considerado con una muy alta capacidad de intercambio. Por lo tanto para los dos casos se relacionan con una elevada capacidad de almacenar nutrientes, y una disminución de pérdida por lavado de los mismos. Por lo tanto las condiciones son aparentemente óptimas en las diferentes parcelas para el desarrollo idóneo del cultivo de la cebada.

Tabla 5.11 Resultados de capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los diferentes suelos evaluados

Parcela	CIC meq/100g
Sabinal (P1) Almoloya	38.33 (1.51)
Peña (P2) Almoloya	37.49 (1.31)
Vega (P3) Almoloya	42.78 (0.03)
Tío Chano (P4) Apan	37.44 (0.73)
Panadera (P5) Apan	29.15 (1.63)
Bonilla I (P6) E. Zapata	34.18 (0.75)
Bonilla II (P7) E. Zapata	32.94 (1.06)

(): Desviación estándar

Sin embargo, es oportuno señalar que la materia orgánica del suelo contiene cerca del 5% de nitrógeno total, pero también contiene otros elementos esenciales para las plantas, tales como fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes (Julca *et al.*, 2006). Durante la evolución de la materia orgánica en el suelo se distinguen dos fases: la humidificación y la mineralización.

La humidificación es una fase bastante rápida, durante la cual los microorganismos del suelo actúan sobre la materia orgánica desde el momento en que se la entierra. Primero se

forma el humus joven, de evolución rápida, que a su vez da paso al humus estable. Ambos productos forman la llamada materia orgánica total del suelo. Al humus joven también se le llama lábil o libre, porque todavía no está fijado o ligado a las partículas del suelo, sino simplemente mezclado con una relación C/N superior a 15, se le puede considerar como un elemento fundamental de la fertilidad del suelo. La fase de mineralización es muy lenta, y en ella el humus estable recibe la acción de otros microorganismos que lo destruyen progresivamente, liberando así los minerales que luego absorberán las plantas (Julca *et al.*, 2006). Es por tanto de interés valorar la relación C/N para conocer mejor si la aparente buena CIC está acorde con la humidificación de la MO y por tanto con la fertilidad de estos suelos.

5.2.4 Humedad

Los contenidos de humedad de todos los suelos resultaron ser de moderados a bajos (en todos los casos menores de 10%) lo que corresponde a suelos con relativos bajos contenidos en arcillas (<30%) y de materia orgánica (MO) que podrían indicar bajos contenidos de ácidos húmicos y fúlvicos; y en consecuencia sus capacidades para retener el agua (CRA) son bajas (Tabla 5.12).

Suelos con contenidos mayores de arcilla y de materia orgánica (ver tablas 5.1 y 5.10), poseen una mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC); esto corresponde con los suelos del municipio de Almoloya, según Pierzynski *et al.*, (1994). Aunado a valores de pH cercanos a la neutralidad.

El clima afecta los procesos biológicos a través de los componentes de humedad y temperatura. Las tasas más activas de crecimiento biológico ocurren en zonas cálidas y húmedas, mientras que las más bajas corresponden a zonas frías y áridas. Por lo tanto, en regiones de clima frío y suelos áridos (como es en este caso de estudio) hay un relativo bajo nivel de acumulación de materia orgánica y bajas tasas de humificación de la misma y una mineralización con niveles altos. El factor de humificación de la MO presente en los suelos, depende de la calidad del material aportado y varía entre el 50 % para el estiércol bien

descompuesto y el 8 - 15 % para paja de cereales sin aporte de fertilizante nitrogenado (Jones, 1983; Kabata-Pendias, 2000; Julca *et al.*, 2006).

Tabla 5.12 Resultados de humedad (H) en los diferentes suelos evaluados

Parcela	H %
Sabinal (P1) Almoloya	8.44 (0.12)
Peña (P2) Almoloya	8.07 (0.12)
Vega (P3) Almoloya	7.56 (0.10)
Tio Chano (P4) Apan	7.25 (0.10)
Panadera (P5) Apan	7.14 (0.10)
Bonilla I (P6) E. Zapata	6.87 (0.09)
Bonilla II (P7) E. Zapata	7.02 (0.08)

(): Desviación estándar

5.2.5 Nitrógeno y relación carbono/nitrógeno

En la tabla 5.13 se observan los resultados nitrógeno total, donde todos los suelos resultaron muy bajos (menores de 0.5%) lo cual es indicativo de la falta de este nutriente en todas las parcelas, generando un bajo índice de fertilidad de los suelos. Esto es perjudicial para el cultivo de cebada ya que éste requiere de cantidades más elevadas de N sobretodo en la etapa de desarrollo foliar y formación de la espiga.

Tabla. 5.13 Resultados de carbono orgánico (CO), nitrógeno total (N) y la relación (C/N) en los diferentes suelos evaluados

Parcela	CO %	N %	C/N %
Sabinal (P1) Almoloya	2.14 (0.08)	0.15 (0.02)	14.29 (0.05)
Peña (P2) Almoloya	1.56 (0.08)	0.11 (0.02)	14.20 (0.04)
Vega (P3) Almoloya	1.72 (0.08)	0.12 (0.02)	14.35 (0.04)
Tio Chano (P4) Apan	1.30 (0.05)	0.11 (0.01)	11.82 (0.03)
Panadera (P5) Apan	1.98 (0.06)	0.21 (0.02)	9.44 (0.04)
Bonilla I (P6) E. Zapata	1.33 (0.05)	0.32 (0.03)	4.16 (0.04)
Bonilla II (P7) E. Zapata	1.61 (0.06)	0.27 (0.02)	5.97 (0.03)

(): Desviación estándar

También se puede apreciar los valores CO y la relación carbono/nitrógeno en donde ninguna de las parcelas se alcanza el valor idóneo de 15 que señalan Julca *et al.*, (2006) para entender una buena fertilidad de estos suelos. Por lo tanto para éste parámetro se puede decir que los diferentes suelos no son óptimos para el desarrollo de la cebada.

5.2.6 Metales

Los resultados se presentan por cada metal evaluado de cada parcela y el promedio por municipio.

En la tabla 5.14 se observan los resultados de sodio (Na). Génova (2007) reporta que se consideran suelos con problemas de sodicidad aquellos que presenten niveles de 160-960 mg/Kg. Como se observa los valores de los diferentes suelos oscilan entre 30.59-38.34 de lo cual se puede deducir que no presentan problemas de sodicidad. Esto se puede corroborar con los resultados de pH y conductividad, ya que altos niveles de sodicidad presentarían un pH por encima de 8 y niveles de conductividad de 0.4 a 0.7 ds/cm (Génova, 2007). Por lo tanto para éste parámetro los suelos son idóneos para el desarrollo de la cebada.

Tabla 5.14 Resultados de contenido de sodio (Na⁺) en los diferentes suelos evaluados

Municipio	Na ⁺ (mg/Kg)			
Almoleya	Sabinal (P1)	Peña (P2)	Vega(P3)	Promedio
	31.76 (1.25)	32.09 (1.46)	31.90 (1.12)	31.92 (1.33)
Apan	Tío Chano (P4)	Panadera (P5)		Promedio
	37.19 (1.52)	38.34 (1.48)		37.77 (1.50)
E. Zapata	Bonilla I (P6)	Bonilla II (P7)		Promedio
	30.59 (1.28)	30.71 (1.25)		30.65 (1.26)

(): Desviación estándar

El potasio es uno de los tres nutrientes minerales que necesitan las plantas en mayor cantidad ya que es indispensable para su óptimo desarrollo. En la tabla 5.15 se observan los resultados de K⁺ donde los contenidos son muy bajos en todos los suelos principalmente en

las parcelas de E. Zapata y como es de esperar su deficiencia desfavorece el rendimiento y calidad del cultivo.

Tabla 5.15 Resultados de contenido de potasio (K^+) en los diferentes suelos evaluados

Municipio	K^+ (mg/Kg)			
Almoleya	Sabinal (P1)	Peña (P2)	Vega (P3)	Promedio
	1.33 (0.09)	1.80 (0.08)	1.84 (0.06)	1.66 (0.08)
Apan	Tío Chano (P4)	Panadera (P5)		Promedio
	1.64 (0.05)	1.45 (0.04)		1.54 (0.04)
E. Zapata	Bonilla I (P6)	Bonilla II (P7)		Promedio
	0.07 (0.01)	0.01 (0.01)		0.04 (0.01)

(): Desviación estándar

El K también ayuda a regular el potencial osmótico celular en algunas plantas; esta función puede ser reemplazada por otros cationes como el sodio (Na), pero siempre de una forma restringida, que no provoque efectos tóxicos (Rodríguez, 1992), lo que al parecer ocurre o pudiera estar presente en estos suelos y principalmente por la baja presencia de K. Además, la deficiencia de potasio aumenta la vulnerabilidad del cultivo a enfermedades y lo hace menos resistente a condiciones de "stress" tales como sequías y heladas (Rodríguez, 1992).

Los contenidos de calcio (Ca) y magnesio (Mg) se muestran en las tablas 5.16 y 5.17. Como se puede observar los diferentes suelos son ricos en calcio y en cuanto a los contenidos de magnesio, estos resultan ser unas 5-18 veces menores que en calcio. En el municipio de E. Zapata se ha podido constatar que es usual las prácticas de aplicaciones de yeso agrícola (sulfato de calcio) con el objetivo de mantener el pH dentro de la neutralidad. Se hace notar que estos suelos presentan los más elevados contenidos en Ca y menores en Mg lo que provoca un desbalance entre estos dos elementos y corrobora que los resultados de las más altas conductividades pueda estar relacionado con este hecho.

Tabla 5.16 Resultados de contenido de calcio (Ca^{2+}) en los diferentes suelos evaluados

Municipio	Ca^{2+} (mg/Kg)			
Almoleya	Sabinal (P1)	Peña (P2)	Vega (P3)	Promedio
	44.26 (1.37)	53.60 (1.22)	42.46 (1.69)	46.77 (1.47)
Apan	Tío Chano (P4)	Panadera (P5)		Promedio
	35.95 (1.32)	33.12 (1.18)		34.54 (1.25)
E. Zapata	Bonilla I (P6)	Bonilla II (P7)		Promedio
	75.45 (1.80)	63.09 (1.66)		69.27 (1.74)

(): Desviación estándar

Tabla 5.17 Resultados de contenido de magnesio (Mg^{2+}) en los diferentes suelos evaluados

Municipio	Mg^{2+} (mg/Kg)			
Almoleya	Sabinal (P1)	Peña (P2)	Vega (P3)	Promedio
	5.05 (0.08)	5.24 (0.06)	4.09 (0.06)	4.79 (0.07)
Apan	Tío Chano (P4)	Panadera (P5)		Promedio
	8.92 (0.07)	6.03 (0.04)		7.47 (0.06)
E. Zapata	Bonilla I (P6)	Bonilla II (P7)		Promedio
	7.01 (0.03)	3.14 (0.02)		5.07 (0.03)

(): Desviación estándar

Los contenidos de plomo (Pb) y níquel (Ni) se muestran en las tablas 5.18 y 5.19. Se puede observar más plomo que níquel (de 2 a 5 veces mayores concentraciones) aunque no se puede indicar que sean niveles peligrosos para los cultivos. No obstante Cajuste *et al.*, (2001) reportan que han encontrado en cultivos como la alfalfa, el trigo y el maíz, valores más elevados de plomo que de níquel, lo cual pudiera ser extrapolable al cultivo de cebada. Sobre todo en los suelos del municipio de E. Zapata se observaron las mayores concentraciones en ambos metales.

Tabla 5.18 Resultados de contenido de plomo (Pb^{2+}) en los diferentes suelos evaluados

Municipio	Pb^{2+} (mg/Kg)			
Almoleya	Sabinal (P1)	Peña (P2)	Vega (P3)	Promedio
	1.26 (0.02)	0.93 (0.02)	0.46 (0.03)	0.88 (0.02)
Apan	Tío Chano (P4)	Panadera (P5)		Promedio
	0.92 (0.04)	0.33 (0.02)		0.63 (0.04)
E. Zapata	Bonilla I (P6)	Bonilla II (P7)		Promedio
	2.77 (0.13)	0.70 (0.02)		1.73 (0.05)

(): Desviación estándar

Tabla 5.19 Resultados de contenido de níquel (Ni^{2+}) en los diferentes suelos evaluados

Municipio	Ni^{2+} (mg/Kg)			
Almoleya	Sabinal (P1)	Peña (P2)	Vega (P3)	Promedio
	0.42 (0.01)	0.18 (0.02)	0.12 (0.02)	0.24 (0.02)
Apan	Tío Chano (P4)	Panadera (P5)		Promedio
	0.28 (0.02)	0.23 (0.01)		0.26 (0.02)
E. Zapata	Bonilla I (P6)	Bonilla II (P7)		Promedio
	0.73 (0.04)	0.39 (0.03)		0.56 (0.04)

(): Desviación estándar

5.3 Análisis proximal por órgano del cultivo

5.3.1 Humedad

En la tabla 5.20, se presentan los resultados de humedad por órganos del cultivo, recolectados de la cosechas de las diferentes parcelas. Se puede observar que las raíces más húmedas son la de los cultivos de Almoleya y la de menor valor es la del cultivo de la parcela Panadera (P5) del municipio de Apan, lo cual se corresponde con su tipo de textura franca arenosa que tiene menor capacidad de retención de agua.

Tabla 5.20 Resultados de humedad (%) en los diferentes órganos de la cebada

Parcelas	Raiz	Hoja	Tallo	Espiga	Grano
Sabinal (P1) Almoloya	7.28 (0.22)	5.66 (0.15)	5.73 (0.18)	4.57 (0.15)	12.11 (0.28)
Peña (P2) Almoloya	5.66 (0.20)	4.41 (0.12)	5.04 (0.15)	5.56 (0.21)	13.89 (0.45)
Vega (P3) Almoloya	5.74 (0.15)	4.96 (0.15)	5.3 (0.12)	5.45 (0.22)	11.37 (0.40)
Tio Chano (P4) Apan	5.36 (0.15)	4.51 (0.15)	5.04 (0.15)	7.13 (0.32)	7.21 (0.30)
Panadera (P5) Apan	4.58 (0.12)	4.53 (0.15)	5.00 (0.10)	7.30 (0.30)	7.09 (0.25)
Bonilla I (P6) E. Zapata	5.25 (0.15)	4.51 (0.15)	5.04 (0.12)	7.34 (0.45)	7.15 (0.32)
Bonilla II (P7) E. Zapata	5.50 (0.15)	4.12 (0.12)	5.97 (0.20)	5.49 (0.30)	7.40 (0.35)

(): Desviación estándar

De todo este análisis, se puede inferir que de acuerdo a los contenidos de agua reportada para el follaje (parte área del cultivo en fase seca, lista para la recolecta, es decir, hojas, tallos y espigas) que oscila entre 14-18% según los autores (Dendy *et al.*, 2004), se puede observar en la tabla 5.21 que los valores encontrados en los municipios se corresponden.

Tabla 5.21 Resultados de humedad (%) promedio del follaje por municipio

Humedad	Almoloya	Apan	E. Zapata
Hojas	5.01	4.52	4.31
Tallos	5.35	5.02	5.50
Espigas	5.19	7.21	6.41
Total	15.55	16.75	16.22

La humedad es uno de los principales criterios para determinar la calidad del grano. Este parámetro da una idea del contenido de materia seca y dicta las condiciones bajo las cuales debe manejarse el grano durante su almacenamiento (Hernández, 2011) . En base a la NMX-FF-043-SCFI-2003 la cebada maltera debe contener como valores óptimos entre 11.5 a 13.5 % de humedad, como se observa en la tabla 5.20, los granos de las parcelas Sabinal (P1) y Peña (P2) pertenecientes al municipio de Almoloya cumplen con este porcentaje, y la parcela La Vega (P3), también de Almoloya su contenido de humedad es próximo a estos valores; por lo tanto, para este parámetro pueden ser considerados como de óptima calidad maltera. Para el resto de los granos de las demás parcelas de los municipios restantes, se puede observar que se encuentran por debajo de la humedad adecuada por lo tanto la

producción de granos de cebada en estos suelos debe estar sujeta a bonificaciones que deduce los consumidores a la hora de la compra del producto (NMX-FF-043-SCFI-2003).

También se puede observar que los granos que presentan menor humedad son los de la parcela Panadera (P5) del municipio de Apan, lo cual se corresponde con su tipo de textura franca arenosa que esta presenta, este tipo de texturas tiene menor capacidad de retención de agua.

5.3.2 Proteína y nitrógeno

Las proteínas presentes en la cebada son responsables de las funciones estructurales, actividad metabólica y proveen el nitrógeno necesario para el desarrollo embrionario durante la germinación (Newman y Newman, 2008). La cebada contiene entre 7.5 a 15.6% de proteína, una cebada de calidad maltera debe tener un porcentaje por de bajo del valor superior antes mencionado (hasta 12%), debido a que con porcentajes relativamente bajos de proteínas (cerca de 10%) se mejora la capacidad germinativa del grano y se tendrá una mayor cantidad de carbohidratos fermentables en el grano (Hernández, 2011). En la tabla 5.22 se observan los resultados, que van de 9.25 a 11.36 % en el grano de las diferentes parcelas, con esto se puede decir que su contenido de proteínas es ideal y los granos de cebada de las diferentes parcelas para este parámetro pueden ser considerados de calidad maltera (entre 8-12%, según Lazzari, *et al.*, 2001).

Tabla 5.22 Resultados de nitrógeno y proteínas (%) en los diferentes órganos de la cebada

Parcela	Raíz		Tallo		Hoja		Espiga		Grano	
	N	Proteína	N	Proteína	N	Proteína	N	Proteína	N	Proteína
Sabinal (P1) Almoloya	1.67	9.75	1.30	7.60	1.66	9.74	1.32	7.71	1.91	11.15
Peña (P2) Almoloya	1.71	9.98	1.09	6.30	1.69	9.82	1.18	6.90	1.84	10.75
Vega (P3) Almoloya	1.53	8.96	1.04	6.06	1.36	7.98	1.11	6.46	1.69	9.89
Tio Chano (P4) Apan	1.26	7.40	1.18	6.93	1.63	9.56	1.26	7.37	1.64	9.62
Panadera (P5) Apan	1.20	7.01	1.05	6.16	1.05	6.15	0.78	4.54	1.58	9.25
Bonilla I (P6) E. Zapata	1.35	7.88	0.91	5.30	1.04	6.06	0.75	4.40	1.68	9.85
Bonilla II (P7) E. Zapata	1.34	7.83	1.03	6.04	1.18	6.91	1.15	6.76	1.94	11.36

Los valores de nitrógeno pueden variar con el periodo de crecimiento, la variedad, y el nitrógeno disponible en el suelo. Hay que tener en cuenta que no se deben hacer aportaciones excesivas de nitrógeno, ya que este favorece el encamado del cultivo.

5.3.3 Grasa

Las grasas se encuentran principalmente en el germen y la capa aleurona (Callejo, 2002). Las grasas cuando están unidas a las proteínas tienden a estabilizar y mejorar la formación de espuma en el proceso de elaboración de cerveza, pero cuando se encuentran libres (en forma de ácidos grasos) disminuyen la formación de espuma (Hough, 1990). La cebada debe contener entre 1.1 a 3.1% de grasas, una cebada de calidad maltera debe tener un porcentaje medio dentro de este rango antes mencionado.

En la tabla 5.23 se observan que los contenidos de grasa en los granos cosechados oscilaron entre 0.86 y 1.14% para los tres municipios, resultando que las parcelas Bonilla I (P6) y Bonilla II (P7) de E. Zapata son las que presentan valores elevados. Esto se corresponde con lo indicado por Dendy *et al.*, (2004) quienes señalan que para la cebada maltera este valor es en promedio menor de 1.8%.

Tabla 5.23 Resultados de grasa (%) en los diferentes granos de cebada

Parcela	Grasa %
Sabinal (P1) Almoloya	0.98 (0.06)
Peña (P2) Almoloya	0.95 (0.05)
Vega (P3) Almoloya	0.86 (0.04)
Tío Chano (P4) Apan	1.00 (0.06)
Panadera (P5) Apan	0.96 (0.06)
Bonilla I (P6) E. Zapata	1.09 (0.08)
Bonilla II (P7) E. Zapata	1.14 (0.08)

(): Desviación estándar

5.3.4 Fibra

La fibra se encuentra principalmente en la cubierta del grano actuando principalmente como parte estructural y no es parámetro para determinar si una cebada es de calidad maltera. La fibra solo podría tener beneficio al momento de llevar a cabo la filtración del mosto ya que favorece este paso (Hernández, 2011). La cebada contiene entre 3 a 5.9% de fibra (Serna, 2009). En la tabla 5.24 se observan los resultados que van de 0.97 a 1.73 en los granos de las diferentes parcelas por lo que se puede decir que su contenido de fibra es deficiente en todos los casos.

Se observa en la tabla 5.24 que los contenidos en fibras resultaron similares para las raíces del cultivo entre 2.67-2.87%, para los tallos entre 12.09-13.92% y para las hojas entre 1.47-1.87% en los tres municipios. En los contenidos de fibra de las espigas, presentan un rango amplio en comparación con los antes mencionados entre 1.05-3.30%, siendo los valores más altos en los cultivos de las tres parcelas del municipio de Almoloya. Por su parte los contenidos de fibra en los granos resultaron semejantes pero los menores contenidos se mostraron en las parcelas de Almoloya.

Tabla 5.24 Resultados de fibra (%) en los diferentes órganos de la cebada

Parcelas	Raiz	Tallo	Hoja	Espiga	Granos
Sabinal (P1) Almoloya	2.70 (0.11)	12.64 (0.88)	1.87 (0.09)	2.92 (0.08)	0.97 (0.04)
Peña (P2) Almoloya	2.69 (0.10)	13.92 (0.75)	1.76 (0.10)	3.30 (0.07)	1.07 (0.04)
Vega (P3) Almoloya	2.87 (0.12)	13.17 (0.68)	1.67 (0.10)	3.28 (0.05)	1.10 (0.05)
Tío Chano (P4) Apan	2.70 (0.15)	12.41 (0.65)	1.57 (0.09)	1.60 (0.06)	1.60 (0.07)
Panadera (P5) Apan	2.67 (0.15)	12.09 (0.55)	1.47 (0.08)	1.05 (0.05)	1.44 (0.05)
Bonilla I (P6) E. Zapata	2.71 (0.18)	12.43 (0.65)	1.53 (0.08)	1.73 (0.08)	1.73 (0.08)
Bonilla II (P7) E. Zapata	2.68 (0.15)	12.16(0.45)	1.47 (0.05)	1.63 (0.10)	1.66 (0.08)

(): Desviación estándar

5.3.5 Carbohidratos

En la tabla 5.25 se observa que los contenidos de carbohidratos se incrementan de la raíz, al tallo y a las hojas; posteriormente, disminuyen en las espigas y vuelven a incrementar en

los granos (esto resulta lógico tomando en cuenta la estructura de cada una de las partes de la planta). Para los contenidos de carbohidratos en raíces y tallos resultaron significativamente menores en los cultivos de Apan en comparación con los otros dos Municipios; sin embargo tienen mayor concentración de carbohidratos en las hojas.

Por su parte los porcentajes encontrados en granos fueron similares para todos los casos resultando los mayores contenidos los pertenecientes a las parcelas del municipio de Almoloya. Los carbohidratos constituyen la mayor parte del peso del grano de cebada entre un 70 y 85% de los cuales únicamente el 3 a 5% son estructurales y el resto conformado principalmente por almidón, de donde se obtienen los azúcares fermentables (Serna, 2009). Una cebada de calidad maltera debe tener un porcentaje mayor a 70% (Hernández, 2011). En la tabla 5.25 se observa que el porcentaje de carbohidratos en los granos de cebada de las diferentes parcelas esta por encima del valor idóneo. Por lo tanto la cebada para este parámetro puede ser considerada de calidad maltera.

Tabla 5.25 Resultados de carbohidratos (%) en los diferentes órganos de la cebada

Parcelas	Raiz	Tallo	Hoja	Espiga	Granos
Sabinal (P1) Almoloya	63.49 (0.47)	70.81 (0.70)	73.84 (0.65)	70.62 (0.42)	78.07 (0.34)
Peña (P2) Almoloya	69.49 (0.55)	70.45 (0.60)	71.84 (0.60)	70.62 (0.36)	76.47 (0.40)
Vega (P3) Almoloya	62.44 (0.42)	69.15 (0.55)	72.77 (0.58)	65.33 (0.28)	78.35 (0.52)
Tio Chano (P4) Apan	58.36 (0.50)	67.75 (0.48)	75.02 (0.62)	66.48 (0.42)	74.26 (0.38)
Panadera (P5) Apan	56.17 (0.54)	68.57 (0.60)	74.58 (0.60)	65.33 (0.52)	73.08 (0.36)
Bonilla I (P6) E. Zapata	62.23 (0.47)	70.34 (0.55)	71.37(0.58)	64.21 (0.50)	70.26 (0.52)
Bonilla II (P7) E. Zapata	59.24 (0.55)	73.05 (0.62)	72.95 (0.55)	62.86 (0.38)	71.04 (0.40)

(): Desviación estándar

6. CONCLUSIONES

6.1 Sobre suelos cebaderos

1. Propiedades físicas: los suelos de los tres municipios, resultan de texturas Franca y Franca Arenosa, de densidades reales y aparentes moderadas que indican bajos contenidos de materia orgánica (MO); son suelos moderadamente estructurados por sus espacios porosos.
2. Presentan bajos niveles de agua higroscópica y ~~capilar~~capilar, así como muy baja capacidad de campo, por ello las partículas coloidales muestran tamaños pequeños de estabilidad moderada. Todo ello confirma su pobre nivel de estructuración y bajos niveles de arcillas y MO.
3. Los pH de los suelos en los tres municipios resultaron ser neutros y moderadamente ácidos según la norma, con respecto al potencial redox (Eh) resultaron ser reductores intermedios y de bajas concentraciones de sales disueltas en la fase acuosa (conductividad eléctrica moderada). Y en base al pZ las suspensiones coloidales se clasifica como moderadamente estables.
4. Los contenidos bajos de arcilla y de MO provocan una baja retención de agua en los suelos, baja humidificación de la MO y una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de baja a moderada por lo cual no son óptimamente aprovechados los nutrientes principales.
5. Los bajos contenidos de MO provocan bajos índices de carbono orgánico (C) lo que unido a los bajos niveles de nitrógeno (N) total provocan una baja relación C/N que denotan la baja fertilidad de estos suelos.
6. Los bajos contenidos de potasio (K) en suelos de los tres municipios resultan poco favorables para el cultivo de cebada sobretodo, en sus primeras etapas de desarrollo. Los contenidos de (Na) son mínimos, por lo ~~tantotanto~~, estas concentraciones no tienen efectos nocivos sobre el desarrollo del cultivo. Los problemas de encamado y fracturas de espigas deben estar asociados a los bajos niveles de N y K en suelos que no llegan a satisfacer las necesidades del cultivo en las primeras etapas del

desarrollo. Por ello se ha convertido en una práctica habitual el uso de fertilizantes del tipo NPK en algunos sitios de la región.

7. Para el (Ca) y (Mg) se encontraron en concentraciones deficientes, a excepción de las parcelas del municipio de E. Zapata donde la concentración de Ca es mayor debido a que en estos suelos se agrega yeso agrícola para mantener su pH en un nivel neutro. Metales como níquel (Ni) y plomo (Pb) fueron encontrados en ~~pequeñas concentración~~pequeñas concentraciones por consiguiente pueden ser considerados como tóxicos para los cultivos.

6.2 Sobre el cultivo de la cebada

1. Los niveles de humedad acumulada por órganos del cultivo son adecuados indicando que la cebada puede ser considerada para este parámetro de calidad maltera.
2. Los contenidos en proteínas son buenos con lo que se puede afirmar que cumplen con el parámetro necesario, por lo ~~tantotanto~~, pueden ser consideradas de calidad maltera.
3. Los contenidos de grasas y fibras en órganos del cultivo se encuentran en valores normales y se corresponden con los reportados para este cultivo.
4. Por los contenidos de carbohidratos totales estimados por cálculos, se considera que son elevados, por lo cual el cultivo puede ser considerado de calidad maltera.
5. En base a los resultados obtenidos de las cebadas en general pueden ser consideradas como aceptables a pesar de que los suelos ya manifiestan una relativa baja calidad para este cultivo. Esto es debido a lo que se reporta sobre el cultivo de cebada maltera el cual resulta muy tolerante a condiciones adversas.

7. RECOMENDACIONES

De todo el estudio realizado se plantean como recomendaciones que se debe continuar con los siguientes aspectos:

- Continuar evaluando sistemáticamente por medio de análisis físico-químicos, el aparente deterioro que han sufrido los suelos de la región por el excesivo manejo en un sistema de monocultivo.
- Evaluar las aplicaciones de otras técnicas de laboreo de suelos para el desarrollo de este cultivo y estudiar la aplicación de técnicas de mejoramiento de los mismos, tales como rotación de cultivos y nuevos métodos de cosecha.
- Se hace necesario recuperar y elevar los niveles de materia orgánica en los suelos, por lo cual es recomendable la aplicación de fertilizantes orgánicos.
- Es importante que se evalúen indicadores de calidad para los suelos destinados al cultivo de este cereal.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C.R., Gutiérrez B., Taboada, M.A., Prystupa, P., Ocampo, J.F. (2004). Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo distintos manejos en el norte de Buenos Aires. Pp.238. Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Aguilar, J. y Schwentesius, R. (2004). La producción de cebada maltera en México. Ventaja comparativa no capitalizada. Reporte de investigación Núm. 72. Universidad Autónoma Chapingo, México.Pp.61.
- Aguilera, N. (1989). Tratado de edafología de México. Primera Edición. Facultad de ciencias. Dirección general de Publicaciones. México, D.F. Pp. 7-11, 46, 64-69, 83-92.
- AOAC (1999). Association of official analytical chemists. Official methods of analysis. Richmond, USDA.
- Blanco, M. A., Montero, M de los A., Fernández, M. (2000). Composición química de productos alimenticios derivados de trigo y maíz elaborados en Costa Rica. Revista. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. ALAN. Vol. 50, N° 1, Caracas, Venezuela. Pp.62-74.
- Bohn, H.L., Mcneal, B.L., O'connor, G.a. (1993). Química del suelo. Primera Edición. Editorial Limusa. México, D.F. Pp. 123-150, 175-180. 259-263.
- Bonadeo, E., Ricardo, E., Bongiovanni, M. D., Selva, I., Odorizzi, A. (2006). Relaciones entre propiedades físicas y químicas del suelo y raíces de alfalfa (*Medicago sativa* L.) Afectada por “manchoneo”. C. Suelo (Argentina) 24 (2) 101-107.

Bibliografía

- Boulding, J. (1995). Description and sampling of contaminated soils. A field guide. Segunda Edition. Editorial Boca Raton, FL7 Lewis Publishers; Chapter 3.
- Brissio, P. A. (2005). Evaluación preliminar del estado de contaminación en suelos de la provincia del Neuquén donde se efectúan actividades de explotación hidrocarburífera. Tesis de Maestría en saneamiento y protección ambiental. Instituto Superior de Salud y Ambiente. Universidad Nacional del Comahue. Colombia.
- Cajuste, L., Vázquez, A., Siebe, C., Alcántar, G., de la Isla, M. L. (2001). Cadmio, níquel y plomo en agua, suelos y cultivos del Valle del Mezquital. *Agrociencia* 35(3), Pp. 267-274.
- Callejo, G.M.J. (2002). Industria de cereales y derivados. Colección tecnología de alimentos. AMV ediciones. Zaragoza: España. Pp. 169-180.
- Castellanos, J. Uvalle, J. Aguilar, A. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Segunda Edición. Colección INCAPA.
- Cepeda, J. (1991). Química de suelos. Segunda Edición. Editorial Trillas. México, D.F. Pp. 7, 11-15, 17-18, 43-46, 75-82, 107-113.
- Cong, W. (1994). Geología física. Ed. Limusa. México. Pp. 18-26.
- Dendy D. A. y Dobraszcyk, B. J. (2004). Cereales y productos derivados. Química y tecnología. Editorial Acribia, S. A. Pp. 341-358.
- Deshpande, V.S., Fleck, N.A., Ashby, M.F., (2001), Effective properties of the octet-truss lattice material: *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 49, 1747–1769.

Bibliografía

- Dexter, A.R. (2004). Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120: 201-214.
- Díaz-Zorita, M., Duarte, G.A., Grove, J.H., (2002). A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid pampas of Argentina. *Soil Till.Res.* 65: 1-18.
- Dorronsoro, C. F., Aguilar, J., Fernández, E., Fernández, J., García, I., Martín, F., Simon, M. (2004). Soil pollution by a pyrite mine spill in Spain: evolution in time. *Environmental Pollution* 132:395–401.
- Fancelli, AL. (2006). Micronutrientes en la fisiología de las plantas. Pp 11-27. En: M Vázquez (ed). *Micronutrientes en la agricultura*. Asociación Argentina de la ciencia del suelo. Buenos Aires, Argentina. Pp. 207.
- Ferreras, L., Magra, G., Besson, P., Ovalevski, E., García, F. (2007). Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana norte de Argentina bajo siembra directa. *Ci. Suel.* 25(2): 159-172.
- Financiera Rural. (2009). Monografía cebada. Dirección general adjunta de planeación estratégica y análisis sectorial. México. [Versión Electrónica]. Obtenido el 31 de Marzo de 2011, en: <http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/MONOGRAFIA%20CEBADA%2029%20mzo%202010.pdf>
- Fitz, P. (1996). Introducción a la ciencia de los suelos. Primera Edición. Editorial Trillas. México, D.F. Pp. 25-70, 131-136.
- Gavande, S.A. (1972). Físicas de suelos. Principios y aplicaciones. Primera Edición. Editorial Limusa-Wiley. México, D.F. Pp. 78-82, 107, 161-165.

Bibliografía

- Génova, L. (2007). Salinidad y sodicidad de suelos regados complementariamente en la región Pampeana, Argentina. *Ciencias del suelo*, 25(3), Pp. 65-76.
- Hernández, N. (2011). Elaboración de una cerveza artesanal empleando malta chocolate. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México
- Huges, P. (1999). Hydrophobic interactions and their significance for beer foam quality. Proc. European brewery convention beer symposium. Foam qual. Pp. 158-163.
- Jordán, A. (2006). Manual de edafología. Departamento de cristalografía, mineralogía y química agrícola de la Universidad de Sevilla. Disponible en: <http://libnet.unse.edu.ar/1bi/ba/cefaya/cdig/000005.pdf>
- Jones, C.A. (1983). Effect of soil texture on critical bulk density for root growth. *soil sci. Soc. Am. J.* 47, Pp 1.208 – 1.211.
- Julca, A., Meneses, L., Blás, R., Bello, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Revista IDESIA, Chile*, 24(1), Pp. 49-61.
- Kabata-Pendias, A. (2000). Trace elements in soils and plants. Third Edition. CRC Press, Inc. Boca Raton. USA. Pp. 413.
- Lambe, T.W., Whitman, R.V. (2006). Mecánica de suelos. Primera Edición. Editorial Limusa. México, D.F. 57-58, 86-87.
- Lasat, M. M. (2000). The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil. American association for the advancement of science, environmental science and engineering Fellow. Pp. 33.

Bibliografía

- Lazzari, M., Landriscini, M., Cantamutto, M., Migliarina, A. M., Rosell, R. A. (2001). Absorción de nitrógeno por cebada cervecera en dos suelos del sur Bonaerense, Argentina. *Ciencia del suelo* 19 (2):101.
- López-Perea P., Guzmán-Ortiz F. A., Santos-López E. M., Prieto-García F. y Román-Gutiérrez A. D. (2005). Evaluación de la calidad física de diferentes variedades de cebada (*hordeum sativum* jess) cultivadas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala, México. *Revista Chilena de nutrición*. Vol. 32 (3). Pp. 247-253.
- Malvern Instrument, Inc. (2004). Potencial Zeta. Un curso completo en cinco minutos. Ed. Malver Inst. Catálogo Zeta-Meter. Westborough, MA 01581-1042, USA.
- Marcano, F., Guédez, J., de Roberti, R.P. (1997). Características morfológicas y físicas del suelo. Serie monografía N° 14. Departamento de suelos, Decanato de Agronomía, UCLA. Pp. 111.
- Márquez-Elías A. K. (2006). Análisis fisicoquímico de diferentes variedades de harina de cebada, revista de salud pública y nutricional (RESPYN, 14(6) disponible en la página web: <http://www.respyn.uanl.mx/espaces/2006>.
- Martens, DA., Frankenberger, W.T. (1992). Decomposition of bacterial polymers in soil and their influence on soil structure. *Biol. Fertil. Soils*. 13: 65-73.
- Newman, K.R. y Newman, C.W. (2008). Barley for food and health. Science, technology and products. Ed. Wiley. New jersey, USA. Pp. 59, 111-116.
- 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.

Bibliografía

- NMX-FF-043-SCFI-2003. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - cereal - cebada maltera - (*Hordeum vulgare* L. y *Hordeum distichum* L.) - Especificaciones y métodos de prueba.
- Ochoa, G., Malagón, D., Oballos, J. (2008). Influencia del material parental y del bioclima en la pedogénesis de la cuenca media y alta del río Motatán. Mérida-Trujillo. Venezuela. *Agronomía Trop.* 58(2): 125-140.
- Ortega, E. (1981). Química de suelos. Primera Edición. Departamento de suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. Pp. 18-20.
- Osca, J. (2001). Cultivos herbáceos extensivos: cereales. Primera Edición. Editorial U.P.V.. Valencia, España. Pp. 121-133.
- Parsons, D., Berlijn, J., Orozco, F., Glass, C. (2004). Manual para la educación agropecuaria. Trigo, cebada, avena. Segunda Edición. Editorial Trillas. México, D.F.
- Pierzynski, G.M., Sims, J.T., Vance, G.F. (1994). *Soils and environmental quality*, Lewis Public., Boca Raton, FL.
- Prieto-Méndez, J., Rubio-Arias, H., Prieto-García F., Roman-Gutiérrez, A., Mendez-Marzo, M., Acevedo-Sandova, O. (2011). Soil Quality in Terms of Physical-Chemical-Metal Properties for Barely (*Hordeum vulgare*) Production in the State of Hidalgo, Mexico. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 10 (2): 230-237, 2011 ISSN 1818-6769
- Primo-Yúfera, E. (1973). Química agrícola. Editorial Alambra. Barcelona España. Pp. 179-187.

Bibliografía

- Ratto, S.E. (2006). Los microelementos en el sistema productivo del área pampeana. Pp 79-112. En: M Vázquez (Ed). Micronutrientes en la agricultura. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. Pp. 207.
- Reynolds, W.D., Bowman, B.T., Drury, C.F., Tana, C.S., Lu, X. (2002). Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma* 110: 131-146.
- Roca, N., Pazos M. S., Bech, J. (2007). Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del noreste argentino. *C. Suelo (Argentina)* 25(1) 31-42.
- Rodríguez, S.A. (1992). Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT. Segunda reimpresión. México, D.F.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Uruguay. Departamento de suelos y agua. Edit. Univ. de la República, p.68.
- Salinas-García, J.R., Hons, F.M., Matocha, J.E. (1997). Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 152-159.
- Seoáñez, M. (1999). Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión. Mundi Prensa Libros S.A., ISBN 84-7114-806-4.
- Serna, S.R.O. (2009). Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. A.G.T Editor. México.
- Sowers, G.B. y Sowers, G.F. (1972). Mecánica de suelos. Primera Edición. Editorial Limusa-Wiley. México, D.F. Pp. 26-32.

Bibliografía

- Tamayo y Tamayo M. (1998). El proceso de investigación científica. Tercera Edición. Editorial Limusa. México, D.F. Pp. 142-150.
- Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D., Havlin, J.L. (1993). Soil fertility and fertilizers. Fifth Edition. Ed. Mc. Millan. Ontario. Pp. 634.
- USDA. (2000). Guía para la Evaluación de la calidad y salud del suelo. Traducción al Español del: “Soil Quality Test Kit Guide”. Instituto de Suelos CRN – CNIA – INTA. Argentina, Pp. 1-88.

PAGINAS DE INTERNET CONSULTADAS

- <http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/cebada>, 2010
- <http://www.ttevisual.com/geography/content4.asp>, 2010
- http://reportes.siap.gob.mx/Agricola_siap/ResumenProducto., 2009
- <http://www.siap.gob.mx/>, 2009
- <http://www.botanical-online.com/propiedadesnutrientes.htm>, 2011