



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO
INTEGRAL REGIONAL

Influencia del suelo en la calidad de cuatro especies de pasto en cinco localidades
del estado de Durango

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

PRESENTA

JOSÉ MARÍA DE JESÚS HERNÁNDEZ SERRANO

DIRECTORES DE TESIS

M en C JESÚS HERRERA CORRAL

M en C NATIVIDAD URIBE SOTO

Victoria de Durango, Dgo., Noviembre de 2011



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Durango, Dgo. siendo las 13:30 horas del día 28 del mes de Noviembre del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR-IPN DGO para examinar la tesis titulada:

Influencia del suelo en la calidad de cuatro especies de pastos de cinco localidades del Estado de Durango.

Presentada por el alumno:

HERNÁNDEZ

Apellido paterno

SERRANO

Apellido materno

JOSÉ MARÍA DE JESÚS

Nombre(s)

Con registro:

B	0	9	1	2	0	2
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

M. en C. Jesús Herrera Corral

M. en C. José Natividad Uribe Soto

M. en C. Néstor Naranjo Jiménez

M. en C. Sergio Daniel Pámanes García

Dra. Yolanda Herrera Arrieta

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



Dr. José Antonio Ávila Reyes

CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.T.D.I.R.
UNIDAD DURANGO
I.P.N.



SIP-13-BIS

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTORES DE TESIS

México, D.F. a 18 de Noviembre del 2010

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR –IPN Durango en su sesión Ordinaria No. 3 celebrada el día 4 del mes de Marzo conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

HERNÁNDEZ

SERRANO

JOSÉ MARÍA DE JESÚS

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre (s)

Con registro:

B	0	9	1	2	0	2
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

"Influencia del suelo en la calidad de cuatro especies de pastos de cinco localidades del Estado de Durango"

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:

2.- Se designan como Directores de Tesis a los Profesores:

M. en C. Jesús Herrera Corral y M. en C. José Natividad Uribe Soto

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en: CIIDIR-IPN Unidad Durango

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

Directores de Tesis

M. en C. Jesús Herrera Corral

Aspirante

José María de Jesús Hernández Serrano

M. en C. José Natividad Uribe Soto

Presidente del Colegio



Dr. José Bernardo Proal Nájera
CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD DURANGO



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de **DURANGO, DGO.**, el día **28** del mes **NOVIEMBRE** del año **2011**, el (la) que suscribe **HERNÁNDEZ SERRANO JOSÉ MARÍA DE JESÚS** alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL** con número de registro **B091202**, adscrito a **CIIDIR- IPN UNIDAD DURANGO**, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del **M. EN C. JESÚS HERRERA CORRAL** y el **M. EN C. JOSÉ NATIVIDAD URIBE SOTO** y cede los derechos del trabajo intitulado **“INFLUENCIA DEL SUELO EN LA CALIDAD DE CUATRO ESPECIES DE PASTOS DE CINCO LOCALIDADES DEL ESTADO DE DURANGO”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **chemaiii6@hotmail.com**. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

JOSÉ MARÍA DE JESÚS HERNÁNDEZ SERRANO
Nombre y firma

EL PRESENTE TRABAJO SE LLEVÓ A CABO EN EL CENTRO
INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO
INTEGRAL REGIONAL, UNIDAD DURANGO DEL INSTITUTO
POLITÉCNICO NACIONAL.

ÍNDICE

RELACIÓN DE TABLAS.....	i
RELACIÓN DE FIGURAS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN.....	1
I. ANTECEDENTES.....	3
1.1 El Suelo.....	3
1.1.2 Textura y estructura del suelo.....	4
1.1.2.1 Agrupación de las texturas en grupos más amplios.....	4
1.1.2.1.1 Suelos de textura gruesa.....	4
1.1.2.1.2 Suelos de textura media.....	4
1.1.2.1.3 Suelos de textura fina o pesada.....	5
1.1.3 Coloides del suelo y retención de iones.....	6
1.1.4 Materia orgánica en el suelo.....	7
1.1.5 Potencial de hidrógeno.....	7
1.1.6 Nutrientes del suelo esenciales para la planta.....	9
1.1.6.1 Nutrientes primarios del suelo.....	9
1.1.6.1.1 Nitrógeno.....	9
1.1.6.1.2 Fósforo.....	10
1.1.6.1.3 Potasio.....	11

1.1.6.2 Nutrientes secundarios del suelo.....	11
1.1.6.2.1 Calcio.....	11
1.1.6.2.2 Magnesio.....	11
1.1.6.2.3 Azufre.....	12
1.1.6.3 Micronutrimientos del suelo.....	12
1.1.6.3.1 Boro.....	12
1.1.6.3.2 Cloro.....	13
1.1.5.3.3 Cobre.....	13
1.1.6.3.4 Hierro.....	13
1.1.6.3.5 Manganeso.....	14
1.1.6.3.6 Zinc.....	14
1.1.6.3.7 Molibdeno.....	15
1.2 Taxonomía general de los suelos.....	15
1.2.1 Ordenes de suelos de la clasificación <i>FAO-UNESCO</i>	16
1.2.1.1 Acrisol.....	16
1.2.1.2 Andosol.....	16
1.2.1.3 Arenosol.....	16
1.2.1.4 Cambisol.....	17
1.2.1.5 Fluvisol.....	17
1.2.1.6 Gleysol.....	17
1.2.1.7 Histosol.....	18

1.2.1.8 Kastañozem.....	18
1.2.1.9 Litosol.....	18
1.2.1.10 Luvisol.....	18
1.2.1.11 Nitosol.....	19
1.2.1.12 Phaeozem.....	19
1.2.1.13 Planosol.....	19
1.2.1.14 Regosol.....	20
1.2.1.15 Rendzina.....	20
1.2.1.16 Solonchak.....	20
1.2.1.17 Solonetz.....	20
1.2.1.18 Vertisol.....	21
1.2.1.19 Xerosol.....	21
1.2.1.20 Yermosol.....	21
1.2.2 Ordenes de suelos de la clasificación USDA.....	21
1.2.2.1 Alfisoles.....	22
1.2.2.2 Aridisoles.....	22
1.2.2.3 Entisoles.....	22
1.2.2.4 Histosoles.....	22
1.2.2.5 Inceptisoles.....	22
1.2.2.6 Mollisoles.....	22
1.2.2.7 Oxisoles.....	23

1.2.2.8 Spodosoles.....	23
1.2.2.9 Ultisoles.....	23
1.2.2.10 Vertisoles.....	23
1.3 Los pastizales.....	24
1.3.1 Importancia de los pastizales.....	24
1.3.2 Las Gramíneas.....	25
1.3.3 Descripción general de las Gramíneas.....	25
1.4 Superficie destinada para agostaderos.....	26
1.5 Situación de los agostaderos en México.....	28
1.6 Valor nutricional del forraje.....	29
1.7 Composición botánica del forraje.....	30
1.8 Composición química del forraje.....	31
1.8.1 Características del análisis químico proximal de las variedades de pastos....	31
1.8.1.1 Humedad.....	31
1.8.1.2 Cenizas.....	33
1.8.1.3 Proteína.....	33
1.8.1.4 Grasa.....	35
1.8.1.5 Fibra.....	36
1.9 Composición mineral del forraje.....	36
1.9.1 Importancia de los nutrientes primarios para la planta.....	38
1.9.1.1 Nitrógeno.....	38

1.9.1.2 Fosforo.....	39
1.9.1.3 Potasio.....	39
1.9.2 Importancia de los nutrientes secundarios para la planta.....	40
1.9.2.1 Calcio.....	40
1.9.2.2 Magnesio.....	40
1.9.2.3 Azufre.....	40
1.9.3 Importancia de los micronutrientes para la planta.....	41
1.9.3.1 Boro.....	41
1.9.3.2 Cloro.....	41
1.9.3.3 Cobre.....	42
1.9.3.4 Hierro.....	42
1.9.3.5 Manganeso.....	42
1.9.3.6 Zinc.....	43
1.9.3.7 Molibdeno.....	43
II. JUSTIFICACIÓN.....	44
III. OBJETIVO.....	45
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
4.1 Localización.....	46
4.1.1 Ubicación y características de las áreas de estudio.....	46
4.2 Muestreo.....	50
4.2.1 Muestreo de suelo.....	50

4.2.2 Muestreo de pasto.....	50
4.3 Análisis Fisicoquímicos.....	50
4.3.1 Análisis de Suelos.....	50
4.3.1.1 Textura.....	51
4.3.1.2 Potencial hidrógeno.....	51
4.3.1.3 Materia Orgánica.....	51
4.3.1.4 Nitrógeno total.....	52
4.3.1.5 Análisis de minerales.....	52
4.3.2 Análisis de Pastos.....	52
4.3.2.1 Determinación de contenido de humedad.....	53
4.3.2.2 Determinación del contenido de cenizas.....	53
4.3.2.3 Proteína por micro-Kjeldahl.....	54
4.3.2.4 Determinación del contenido de grasa.....	54
4.3.2.5 Determinación del contenido de fibra.....	55
4.3.2.5.1 Fibra detergente neutra.....	55
4.3.2.5.2 Fibra detergente acida.....	56
4.3.2.6 Análisis de minerales.....	57
4.4 Análisis estadístico de resultados.....	57
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
5.1 Especies presentes en los sitios de estudio.....	58
5.1.1 Especies de pasto seleccionadas para este estudio.....	59

5.1.1.1 <i>Bouteloua gracilis</i>	59
5.1.1.2 <i>Bouteloua curtipendula</i>	60
5.1.1.3 <i>Bothriochloa barbinodis</i>	61
5.1.1.1.4 <i>Melinis repens</i>	62
5.2 Análisis químicos de suelos.....	64
5.2.1 Textura.....	64
5.2.2 Potencial hidrógeno.....	65
5.2.2.1 Análisis de pH en la correlación canónica del suelo.....	66
5.2.3 Materia Orgánica.....	67
5.2.3.1 Análisis de materia orgánica en la correlación canónica del suelo.....	69
5.2.4 Nitrógeno Total.....	70
5.2.4.1 Análisis de nitrógeno en suelo en la correlación canónica del suelo.....	71
5.2.5 Análisis de Minerales.....	72
5.2.5.1 Macronutrientes del suelo y su análisis en la correlación canónica.....	73
5.2.5.1.1 Calcio.....	74
5.2.5.1.2 Magnesio.....	75
5.2.5.1.3 Azufre.....	76
5.2.5.1.4 Sodio.....	78
5.2.5.1.5 Potasio.....	78
5.2.5.1.6 Fosforo.....	79
5.2.5.2 Micronutrientes y su análisis en la correlación canónica suelo-pasto.....	80

5.2.5.2.1 Cobre.....	81
5.2.5.2.2 Manganeso.....	83
5.2.5.2.3 Cobalto.....	84
5.3 Análisis de químicos pastos.....	86
5.3.1 Humedad.....	86
5.3.1.1 Análisis de humedad en la correlación canónica suelo-pasto.....	86
5.3.2 Cenizas.....	87
5.3.2.2 Análisis de ceniza en la correlación canónica suelo-pasto.....	87
5.3.3 Proteína Cruda.....	87
5.3.3.1 Análisis de proteína en la correlación canónica suelo-pasto.....	88
5.3.4 Grasa.....	88
5.3.4.1 Análisis del contenido de grasa de las especies en la correlación canónica suelo-pasto.....	89
5.3.5 Fibra.....	90
5.3.5.1 Fibra detergente neutra.....	90
5.3.5.1.1 Análisis del contenido fibra detergente neutra de las especies en la correlación canónica suelo-pasto.....	91
5.3.5.2 Fibra detergente acida.....	92
5.3.5.2.1 Análisis del contenido fibra detergente acida de las especies en la correlación canónica suelo-pasto.....	93
5.3.6 Análisis de Minerales.....	93

5.3.6.1 Macronutrientes de las especies y su análisis en la correlación canónica suelo-pasto.....	93
5.3.6.1.1 Calcio.....	94
5.3.6.1.2 Magnesio.....	95
5.3.6.1.3 Azufre.....	96
5.3.6.1.4 Sodio.....	97
5.3.6.1.5 Potasio.....	98
5.3.6.1.6 Fosforo.....	99
5.3.6.2 Micronutrientes de las especies y su análisis en la correlación canónica suelo-pasto.....	99
5.3.6.2.1 Cobre.....	102
5.3.6.2.2 Manganeso.....	102
5.3.6.2.3 Cobalto.....	103
VI. CONCLUSIONES.....	104
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	106

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Valores de pH para la clasificación de los grados de acidez o alcalinidad en los suelos.....	8
Tabla 2. Especies presentes en los sitios de estudio.....	58
Tabla 3. Tipo de textura de cada potrero en los cinco sitios.....	64
Tabla 4. Contenido de pH de cada potrero en los cinco sitios.....	66
Tabla 5. Porcentaje de materia orgánica de cada potrero en los cinco sitios.....	68
Tabla 6. Porcentaje de nitrógeno de cada potrero en los cinco sitios.....	71
Tabla 7. Cantidad de calcio, magnesio y azufre de cada potrero en los cinco sitios....	73
Tabla 8. Porcentaje de sodio, potasio y partes por millón de fósforo de cada potrero en los cinco sitios.....	77
Tabla 9. Partes por millón (ppm) de cobre, manganeso y cobalto de cada potrero en los cinco sitios.....	81
Tabla 10. Porcentaje de humedad de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.....	86
Tabla 11. Porcentaje de ceniza de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.....	87
Tabla 12. Porcentaje de proteína de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.....	88
Tabla 13. Porcentaje de grasa de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.....	89
Tabla 14. Porcentaje de FDN de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.....	91

Tabla 15. Porcentaje de FDA de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.....	92
Tabla 16. Porcentaje de calcio, magnesio y azufre de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.....	94
Tabla 17. Porcentaje de sodio, potasio y partes por millón de fosforo de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.....	97
Tabla 18. Partes por millón de cobre, manganeso y cobalto de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.....	101

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1. Localización de los sitios de muestreo en el estado de Durango.....	46
Figura 2. <i>Bouteloua gracilis</i>	60
Figura 3. <i>Bouteloua curtipendula</i>	61
Figura 4. <i>Bothriochloa barbinodis</i>	62
Figura 5. <i>Melinis repens</i>	63

INFLUENCIA DEL SUELO EN LA CALIDAD DE CUATRO ESPECIES DE PASTO EN CINCO LOCALIDADES DEL ESTADO DE DURANGO

RESUMEN

El suelo es el sustrato donde las plantas terrestres desarrollan sus raíces con las que absorben el agua y los nutrientes imprescindibles para su vida. Los pastos son las plantas agrícolas más importantes del mundo ya que suministran el alimento necesario para el crecimiento y la reproducción de los animales herbívoros. El evaluar los elementos presentes en el forraje y su relación con el suelo nos permite aplicar técnicas de conservación y manejo de los pastizales que conlleven a una mayor producción y un menor deterioro del ecosistema. El objetivo del trabajo fue determinar la influencia del suelo en la calidad de los pastos *Bouteloua gracilis*, *Bouteloua curtipendula*, *Bothriochloa barbinodis* y *Melinis repens* en las localidades de Torreón de Cañas, Los Lobos, El Arenal, El Sagal y Los Adobes en el estado de Durango. Se realizaron evaluaciones fisicoquímicas del suelo y composición botánica y química del pastizal. Dichas evaluaciones se analizaron mediante una correlación canónica para verificar el grado de asociación entre las variables suelo-pasto. Los resultados obtenidos indican que el contenido de grasa de las especies tiene relación con el contenido de calcio, potasio y cobalto del suelo; la fibra detergente neutra con el potasio; el contenido de magnesio de las especies con el contenido de magnesio, fosforo, cobre y cobalto; el contenido de fosforo y de cobalto con el contenido de manganeso del suelo.

INFLUENCE OF SOIL IN THE QUALITY OF FOUR GRASS SPECIES AT FIVE LOCALITIES IN THE STATE OF DURANGO

ABSTRACT

Soil is the substrate where terrestrial plants develop their roots, with which absorb water and nutrients essential for life. Grasses are the most important agricultural plants in the world because they provide the food necessary for growth and reproduction of herbivores. Evaluating the elements present in the forage and its relationship allows us to apply soil conservation techniques and grazing management that lead to greater production and less deterioration of the ecosystem. The objective was to determine the influence of soil on the quality of grasses *Bouteloua gracilis*, *Bouteloua curtipendula*, *Bothriochloa barbinodis* and *Melinis repens* in the localities of Torreon de Cañas, Los Lobos, El Arenal, El Sagal and Los Adobes, in the state of Durango. Evaluations were made of soil physico-chemical and chemical and botanical composition of pasture. These assessments were analyzed using canonical correlation to verify the degree of association between soil-pasture variables. The results obtained indicate that the fat content of the species is related to the calcium, potassium and cobalt of the soil; neutral detergent fiber with potassium; the magnesium content of the species with the content of magnesium, phosphorus, copper and cobalt; phosphorus and cobalt with manganese content of the soil.

INTRODUCCIÓN

De los distintos enfoques que se han utilizado en el estudio de los suelos el más tradicional ha sido el de considerarlo como sustrato para el crecimiento de las plantas o el desarrollo vegetal. En el suelo es donde las plantas terrestres desarrollan sus raíces, con las que absorben el agua y los nutrientes imprescindibles para su vida y al mismo tiempo les sirve de anclaje para poder sostener toda su parte aérea, con la que realizan la fotosíntesis (Ibáñez, 2006).

Los pastizales naturales son comunidades vegetales en las que distintas especies interactúan entre sí y con el ambiente en que se encuentran. Dicha interacción se refiere a competencias por espacio, luz, agua y nutrientes entre las plantas que componen un pastizal, ya sean de la misma especie o no. Son comunidades vegetales dominadas por gramíneas (Poaceae) que generalmente ocupan zonas planas, de transición entre bosques templados y matorrales xerófilos (Rzedowski, 1978). Los pastos son las plantas agrícolas más importantes del mundo (Chapman y Peat, 1995), ya que son capaces de suministrar todo el alimento necesario para el crecimiento normal y la reproducción de los animales herbívoros (Calderón, 1965).

A pesar de la importancia de la actividad ganadera en el Estado, se han realizado pocos estudios de investigación enfocados al mejoramiento de la producción animal, y más pocos relacionados con la influencia del suelo en la calidad de las especies forrajeras de pastos.

El determinar cuánto, cuando y cuáles son los elementos que están presentes en el forraje y su relación con el suelo, nos permitirá aplicar técnicas de conservación y manejo de los pastizales que conlleven a una mayor producción y un menor deterioro del ecosistema.

Es por esto que el objetivo de este trabajo fue determinar la influencia de la composición del suelo en la calidad de los pastos *Bouteloua gracilis*, *Bouteloua curtipendula*, *Bothriochloa barbinodis* y *Melinis repens* en las localidades de Torreón de Cañas, El Arenal, El Sagal, Los Lobos y Los Adobes del estado de Durango.

Para lograr el objetivo de este trabajo se realizaron evaluaciones del suelo y pastizal; se emplearon líneas Canfield para registrar la composición botánica de los sitios y a partir de ello muestrear vegetación para hacer análisis químico de las especies de interés y análisis fisicoquímico del suelo; ambos resultados se contrastaron con correlación canónica, para verificar el grado de asociación entre las variables suelo-pasto.

I. ANTECEDENTES

1.1 El Suelo

El suelo es el medio en el cual las plantas crecen para alimentar y vestir al mundo. La fertilidad es vital para que un suelo sea productivo. Al mismo tiempo, un suelo fértil no es necesariamente un suelo productivo. Factores como mal drenaje, insectos, sequia, etc. Pueden limitar la producción, aun cuando la fertilidad del suelo sea adecuada (MIFS, 1997).

El suelo es el resultado de la fragmentación, desintegración y descomposición de las rocas en el curso del tiempo, bajo la acción de diferentes agentes del intemperismo: mecánicos, físicos, químicos y biológicos (agua, aire, calor, vida vegetal y animal, etc.), y de los efectos de estos mismos agentes en la diferenciación del perfil, cuyo efecto ultimo o final es más o menos modificado por el drenaje y la topografía.

Los efectos más notables del material intemperizado dependen principalmente del clima y del tiempo, el clima determina en gran parte la categoría de los productos y la clase de vida vegetal y animal que pueden desarrollarse en condiciones naturales; el tiempo, por el contrario, regula el grado de descomposición (Flores Menendez, 1975).

Para entender cómo funciona la productividad del suelo se deben reconocer las relaciones existentes entre el suelo y la planta. Ciertos factores externos controlan el crecimiento de la planta: aire, calor, luz, nutrientes y agua. Con excepción de variables atmosféricas como la luz, temperatura, humedad relativa y cantidad de CO₂, la planta depende del suelo. Cada uno afecta directamente el crecimiento de la planta y cada uno está relacionado con los otros (MIFS, 1997).

1.1.2 Textura y estructura del suelo

La textura del suelo indica la cantidad de partículas individuales de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. La textura y estructura del suelo influyen en la cantidad de agua y aire que la planta puede retener.

La estructura del suelo no es más que la agregación de las partículas individuales en gránulos de mayor tamaño, que permiten el flujo libre de aire y agua. El tamaño y la forma de los gránulos determinan la calidad de la estructura.

La estructura del suelo tiene una influencia marcada en el crecimiento de las raíces y de la parte aérea de la planta. A medida que el suelo se compacta la proporción de espacios porosos disminuye, el crecimiento radicular se detiene y la producción se reduce (MIFS, 1997).

1.1.2.1 Agrupación de las texturas en grupos más amplios

1.1.2.1.1 Suelos de textura gruesa

Son suelos con más del 50% de arena, pero contienen menos de 20% de arcilla. Las texturas que engloba este grupo son: *Arena*, *arena franco*, y *franco arenoso*. Este tipo de suelos no se pega en los dedos, no se moldea como una masa y sus partículas individuales son visibles. Es suelto y friable cuando está húmedo, lo que lo hace de difícil labranza. Su principal característica es su baja capacidad para retener nutrientes y agua. La alta proporción de poros grandes y el bajo contenido de arcillas facilitan ampliamente las pérdidas de agua y nutrientes, sobre todo nitrógeno nítrico (Castellanos y col., 2000).

1.1.2.1.2 Suelos de textura media

Son los suelos con porosidad equilibrada que permiten buenas condiciones de aireación y drenaje, en su nomenclatura se emplea normalmente el término *franco* o

migajón como sustantivo. Los suelos más representativos de la textura media son los que contienen menos de 35 a 40% de arcilla y menos de 50% arena, a excepción de la textura *franco arcillo arenoso*, que podría contener hasta 70 u 80% de arena a expensas de arcilla. Las texturas que podrían quedar englobadas en este grupo son: *franco limoso*, *franco*, *franco arcillo arenoso* y *franco arcillo limoso* y *franco arcilloso*. Son suelos ligeramente pegajosos y plásticos, cuando están mojados; suaves a firmes cuando están húmedos, y ligeramente duros cuando están secos. Tienden a formar agregados de tamaño pequeño a medio. Presentan una alta proporción de poros de tamaño medio a fino. Presentan una alta capacidad para retener agua y nutrimentos. Son los suelos ideales para la producción agrícola por su amplia capacidad productiva y disponibilidad de agua y nutrimentos. Pueden o no ser friables y a medida que se incrementa la proporción de limo tiene mayor potencial de compactación, lo cual puede dificultar parcialmente su manejo (Castellanos y col., 2000).

1.1.2.1.3 Suelos de textura fina o pesada

Son suelos con más de 40% de arcilla y usan este término como sustantivo, también podríamos englobar aquí a los suelos con más de 60% de limo. En los arcillosos, el suelo se adhiere a los dedos. Estos suelos, cuando están húmedos son pegajosos y plásticos y fácilmente moldeables, las partículas no son visibles y la superficie brilla levemente, mientras que en los limosos el suelo se adhiere menos, se moldea con dificultad y los dedos dan apariencia grasosa y las partículas son brillantes. Cuando están secos son muy duros. Presentan una alta proporción de poros finos. Para poder labrarse adecuadamente deben tomarse en un punto óptimo de humedad y en general no son de difícil labranza. Tienden a formar agregados grandes y firmes. Los grupos texturales son: *arcilla*, *arcilla limosa*, *arcilla arenosa* y *limo*. Presentan alta capacidad de retención de agua y nutrimentos., particularmente si contiene arcilla de tipo 2:1, (montmorilonita o illita). Estos suelos normalmente son los de más alta fertilidad natural. Sin embargo, deben manejarse con precaución, pues se compactan fácilmente cuando se labran o cultivan en condiciones húmedas. Cuando

estos suelos tienen buenos contenidos de materia orgánica son extraordinariamente productivos y fértiles si se manejan y labran apropiadamente (Castellanos y col., 2000).

1.1.3 Coloides del suelo y retención de iones

Los suelos se forman mediante el fenómeno de intemperización de rocas, minerales y materiales orgánicos, el cual se refiere a la desintegración física, promovida por factores físicos; congelamiento -deshielo, calentamiento – enfriamiento, humedecimiento – secado y acción de plantas, animales y el hombre y por la descomposición ocasionado por factores químicos. Algunos minerales, y la materia orgánica se descomponen hasta llegar a formar partículas extremadamente pequeñas. Las reacciones químicas que ocurren a continuación reducen el tamaño de estas partículas hasta que no se pueden ver a simple vista, las partículas más pequeñas se llaman coloides. Estos son los responsables de la reactividad química del suelo.

Cada coloide retiene carga negativa que se desarrolla durante los procesos de formación, esto significa que los coloides pueden atraer y retener partículas cargadas positivamente, de igual forma que los polos opuestos de un imán se atraen entre sí.

El potasio, sodio, hidrogeno, calcio y magnesio tienen carga positiva y se denominan cationes. Los iones con carga negativa como el nitrato y el sulfato se denominan aniones, estos atraen a los cationes y los retienen.

La capacidad de intercambio catiónico, es la capacidad que tiene el suelo de retener e intercambiar cationes. La fuerza de la carga positiva varía dependiendo del catión y del tipo de arcilla, permitiendo que un catión reemplace a otro en una partícula de suelo cargada negativamente (MIFS, 1997).

1.1.4 Materia orgánica en el suelo

La materia orgánica del suelo está constituida por residuos de plantas y animales en varios estados de descomposición. Un nivel adecuado de materia orgánica beneficia al suelo de varias formas:

- 1.- Mejora las condiciones físicas
- 2.- Facilita la labranza del suelo.
- 3.- Reduce las pérdidas por erosión.
- 4.- Proporciona nutrientes a las plantas.

La materia orgánica contiene alrededor de 5% de nitrógeno total. El nitrógeno se encuentra formando parte de los compuestos orgánicos y no está inmediatamente disponible para el uso de las plantas, debido a que la descomposición ocurre lentamente.

En la materia orgánica también están contenidos otros elementos esenciales para la planta. Los residuos vegetales y animales contienen cantidades variables de nutrientes como Fósforo, Magnesio, Calcio, Azufre y micronutrientes. A medida que la materia orgánica se descompone, estos nutrientes pasan a ser disponibles para la planta en crecimiento.

Los residuos ayudan a incrementar, o por lo menos mantener, los niveles de materia orgánica, beneficiando las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo. (MIFS, 1997).

1.1.5 Potencial de hidrógeno

La reacción del suelo es una de las determinaciones más importantes, ya que es un indicador de múltiples propiedades físicas, químicas y biológicas que influyen en su fertilidad.

Hay cuatro intervalos de potencial hidrógeno (pH) que son particularmente informativos; un pH de menor de 4.0 indica presencia de ácidos libres comúnmente producto de la oxidación de sulfuros, un pH de debajo de 5.5 sugiere estrechamente la ocurrencia de aluminio intercambiable y/o exceso de manganeso, pH entre 7.2 a 8.3 señala la muy probable presencia de CaCO₃ y un pH mayor de 8.2 la posible presencia de elevadas concentraciones de sodio intercambiable.

El pH ideal del suelo es aquel que va de 6.0 a 6.5 pues a estos niveles todos los nutrimentos muestran una razonable disponibilidad.

El pH es menor a medida que la concentración del suelo en la mezcla se incrementa, es decir, entre más baja es la relación suelo: agua más baja será la lectura de pH, no obstante esta variación es de apenas unas decimas de unidad (Castellanos y cols. 2000). En la tabla 1 se muestran los rangos de pH y su grado de acidez o alcalinidad.

Tabla 1. Valores de pH para la clasificación de los grados de acidez o alcalinidad en los suelos.

Grado de acidez o alcalinidad	pH
Extremadamente ácido	< 4.6
Acido	4.6-5.4
Moderadamente ácido	5.5-6.4
Neutro	6.5-7.3
Moderadamente alcalino	7.4-8.1
Alcalino	8.2-8.8
Extremadamente alcalino	>8.9

Fuente: Castellanos y col., 2000

A medida que el pH aumenta se suelen incrementar los problemas de disponibilidad de zinc, hierro, cobre y manganeso (Castellanos y col., 2000).

El pH del suelo es una característica que influye en el crecimiento de las plantas y en el suministro de nutrientes. Al ser el suelo un recurso de tan difícil recuperación, es

de especial importancia los estudios que evalúen el impacto de las diferentes prácticas que se ejerzan sobre él (Leyva Rodríguez y col., 2009).

1.1.6 Nutrimientos del suelo esenciales para la planta.

Se conoce que 16 elementos químicos son esenciales para el crecimiento de la gran mayoría de las plantas. Estos elementos están divididos en 2 grandes grupos: minerales y no minerales.

Los nutrientes no minerales son carbono, hidrogeno y oxígeno, utilizados en la fotosíntesis, se encuentran en el agua y la atmósfera.

Los 13 nutrientes minerales (aquellos provenientes del suelo) están divididos en 3 grupos:

- Primarios : Nitrógeno, Fosforo y potasio
- Secundarios : Calcio, Magnesio y azufre
- Micronutrientes : Boro, Cloro, Cobre, Hierro, Manganeseo, Molibdeno y Zinc

Los nutrientes primarios son los primeros en ser deficientes en el suelo, debido a que las plantas usan cantidades relativamente altas de estos nutrientes. Los nutrientes secundarios y los micronutrientes son en general menos deficientes en el suelo y las plantas los utilizan en pequeñas cantidades. Sin embargo estos son tan importantes como los nutrientes primarios y la planta debe tenerlos a su alcance cuando los necesita (MIFS, 1997).

1.1.6.1 Nutrimientos primarios del suelo

1.1.6.1.1 Nitrógeno

El nitrógeno es el elemento más limitativo que hay en casi todos los suelos, por lo que prácticamente siempre hay que suministrarlo en diferentes formas. El nitrógeno

es un elemento muy dinámico que entra y sale del sistema de varias maneras (Castellanos y col., 2000).

Para los suelos el nutriente que en mayor medida condiciona el crecimiento y rendimiento de los cultivos, es el nitrógeno. El N debe estar bien provisto en cantidad y oportunidad como para asegurar un óptimo estado fisiológico de los cultivos durante los períodos críticos, momentos durante los cuales se define el rendimiento de los cultivos. Para efectuar un manejo racional del N, es necesario conocer los requerimientos por parte de los cultivos y su dinámica de acumulación y redistribución en los vegetales.

Por otra parte, a fin de lograr altos rendimientos con un uso eficiente de N, es necesario conocer la magnitud y la dinámica de la liberación de N y de los diferentes procesos de pérdida desde el sistema suelo. Estos son consecuencia de la interacción de factores edáficos, climáticos y de manejo, que rigen las transformaciones del N en el suelo (Echeverría y Sainz Rozas, 2005).

1.1.6.1.2 Fosforo

Es el segundo nutrimento en importancia, a juzgar por la frecuencia con que ocurre la deficiencia en el suelo. Es un nutrimento con baja movilidad en el suelo. A un pH debajo de 7.2 la forma predominante es el ortofosfato primario (H_2PO_4), a un pH por encima de 7.2 la forma predominante es el ortofosfato secundario (HPO_4) y a un pH de 7.2 hay aproximadamente las mismas cantidades de H_2PO_4 y HPO_4 . La concentración de fosforo en el suelo varia de 200 a 5000 $mg\ Kg^{-1}$. La disponibilidad del fosforo en el suelo depende principalmente del pH y de la presencia de ciertos minerales, también se puede afectar por la temperatura del suelo. En suelos fríos la disponibilidad es baja y se reanuda que estos se calientan de nuevo (Castellanos y col., 2000).

1.1.6.1.3 Potasio

La cantidad de potasio en la solución del suelo está en función de la liberación del potasio intercambiable, generalmente localizado alrededor de las partículas de arcilla. Los cultivos extraen grandes cantidades de potasio del suelo para su crecimiento y desarrollo y como es de esperarse, la falta de éste elemento, influye negativamente en el rendimiento y calidad del cultivo. El abastecimiento de potasio en el suelo es limitado, aun los suelos que contienen arcillas ricas en este mineral no pueden suplirlo indefinidamente. El potasio extraído por los cultivos debe de regresarse al suelo para no disminuir la fertilidad del mismo (IPNI, 2011).

1.1.6.2 Nutrientes secundarios del suelo

1.1.6.2.1 Calcio

Los principales factores de suelo que afectan la disponibilidad del calcio son: el aumento del suministro total de calcio, el pH del suelo, la capacidad de intercambio catiónico, el porcentaje de calcio en la capacidad de intercambio catiónico, el tipo de arcilla, la relación del calcio con otros cationes, el suministro de agua y la humedad relativa (Castellanos y col., 2000).

1.1.6.2.2 Magnesio

El Magnesio se encuentra en el suelo en forma no intercambiable, intercambiable y soluble. Los factores que afectan el suministro de magnesio son: su contenido en el suelo, el pH del suelo, la capacidad de intercambio catiónico, la textura del suelo, el tipo de arcilla y la relación calcio – magnesio. En los suelos con alto contenido de aluminio el abastecimiento de magnesio se ve severamente afectado.

Los suelos más susceptibles a deficiencias son los de textura ligera con alto nivel de potasio y bajo nivel de magnesio. El rango de magnesio es muy variado puede ir desde 25 a 180 ppm (Castellanos y col., 2000).

1.1.6.2.3 Azufre

La fuente original de azufre en los suelos fueron los metales sulfurados de las rocas. En las aguas del subsuelo el contenido puede ir de 8 a 150 ppm, aunque el rango más común en las aguas naturales va de 0.5 a 50 ppm. El contenido de azufre en la corteza terrestre oscila entre 0.06 y 0.1%, mientras que en los suelos minerales oscilan entre 0.01 y 0.2%. El yeso o la anhidrita, en suelos de zonas áridas, así como los sulfatos de sodio y el magnesio son los compuestos de azufre predominantes de los suelos minerales. En suelos orgánicos y sobre todo en manglares el contenido de azufre es alto, con niveles del orden de 1 a 3 %. Los contenidos de azufre en la solución del suelo en las zonas templadas o semiáridas pueden variar de 10 a 500 ppm, por lo que en estos suelos normalmente no se presenta deficiencia de este elemento, aunque no es una regla general (Castellanos y col., 2000).

1.1.6.3 Micronutrientes del suelo

1.1.6.3.1 Boro

El boro es el único elemento no metálico entre los micronutrientes. Ocurre en muy baja concentración en la corteza terrestre, siendo alrededor de 10 ppm. La concentración típica de boro en el suelo es del orden de 7 a 80 ppm, y menos del 5% está disponible para las plantas. Su origen en los minerales primarios son la turmalina, glauconita y muscovita, y en los minerales secundarios incluyen boratos de sodio, potasio, calcio o amonio. Los factores que afectan su solubilidad son: la textura del suelo siendo más deficiente los suelos arenosos bien drenados, el pH del suelo, decreciendo, cuando este se incrementa por encima de 6.3 a 6.5, por lo que el encalado de suelos fuertemente ácidos reduce temporalmente su disponibilidad, por otro lado el encalado aumenta la mineralización de la materia orgánica y se incrementa la liberación de boro y la interacción con otros nutrientes, por ejemplo, cuando la disponibilidad de calcio es alta, la demanda de boro será mayor (Castellanos y col., 2000).

1.1.6.3.2 Cloro

La mayor parte del cloro en los suelos proviene de sales contenidas en el material madre. La mayoría del cloro en el suelo se encuentra como sales solubles de sodio, calcio y magnesio. En la solución del suelo el cloro puede variar desde muy pequeñas cantidades 0.5 ppm, a grandes cantidades 6000 ppm. El anión cloruro tiene en el suelo gran movimiento siendo muy débilmente retenido a pH ligeramente ácido o neutro. Si bien el cloro es absorbido desde el suelo como anión cloruro, en la planta se combina con otros compuestos, se ha detectado en el reino vegetal al cloro formando parte de más de 130 compuestos orgánicos, entre los cuales se encuentran compuestos caracterizados como hormonas auxinicas, tal es el caso de ácido 4 cloroindolacético (Ventimiglia y Camarasa, 2009).

1.1.5.3.3 Cobre

El cobre en la corteza terrestre presenta una concentración promedio de 55 a 70 ppm. Las rocas ígneas contienen de 10 a 100 ppm, mientras que las rocas sedimentarias de 4 a 45 ppm. En los suelos deficientes la totalidad de cobre puede ir de 1 a 2 ppm. Las deficiencias de cobre se presentan normalmente en: suelos con altos contenidos de materia orgánica donde el cobre es absorbido con fuerza, en suelos muy arenosos sujetos a lavado, en suelos alcalinos por lo que una sobredosificación de cal puede proporcionar o solucionar el problema de deficiencia y en condiciones de altos niveles de nitrógeno, fósforo, manganeso o zinc (Castellanos y col., 2000).

1.1.6.3.4 Hierro

El hierro es el cuarto elemento en la composición de la corteza terrestre, representando el 5% de esta. La reserva total en el suelo es del orden de 0.7 a 55%. Sin embargo el hierro intercambiable va de solo 1 a 1000 ppm y el soluble de <0.1 a 25 ppm. El hierro en el suelo se origina de los minerales primarios como la biotita,

olivino, goethita, limonita, magnetita y hematita y en minerales secundarios tales como: sulfuros, sulfatos y carbonatos de hierro (Castellanos y col., 2000).

Los principales factores que afectan la disponibilidad de hierro son: el pH, la presencia de bicarbonatos en la solución del suelo, carbonatos totales y carbonatos mas reactivos (caliza activa), la aireación, el contenido de materia orgánica, la temperatura del suelo y la interacción nutritiva con otros nutrimentos como: cobre, magnesio, zinc y fósforo (Castellanos y col., 2000).

1.1.6.3.5 Manganeseo

Los minerales primarios que suministran manganeso al suelo son: la manganita, pirolusita, y en menor proporción la husmannita, rhodochrosita, rodonita. Los minerales secundarios son: los sulfatos, los fosfatos y carbonatos de magnesio. El pH es el factor que más afecta la solubilidad del manganeso, ya que por cada unidad que aumente el pH se disminuye 100 veces la solubilidad del manganeso. El contenido de manganeso total en el suelo va de 20 a 3000 ppm, aunque en promedio contiene 600 ppm. Los principales factores que coadyuvan a la reducida disponibilidad de manganeso son: el alto pH, suelos aluviales ricos en limo y arcilla, suelos con alto contenido de carbonatos, exceso de humedad y pobre aireación, bajas temperaturas del suelo, la interacción con otros nutrimentos de alta concentración como cobre, hierro y zinc en el suelo, la fuente de nitrógeno también afecta su asimilación siendo favorecida por el amonio, los suelos arenosos suelen presentar problemas y el encalado puede afectar la disponibilidad de manganeso debido al aumento en el pH (Castellanos y col., 2000).

1.1.6.3.6 Zinc

Este es probablemente el nutrimento que es más deficiente en los suelos del mundo. El contenido total de zinc en el suelo varía de 10 a 300 ppm y cuyo promedio es de 50 ppm. Las rocas sedimentarias contienen las más altas concentraciones de zinc,

del orden de 95 ppm, seguidas de las rocas ígneas con 70 ppm, mientras que las de más baja concentración son las rocas calizas y las areniscas. Este nutriente es muy poco móvil en el suelo y su disponibilidad es afectada por: el alto pH, la textura fina, la remoción de la capa arable por nivelación, los bajos niveles de materia orgánica y los altos contenidos de fósforo y magnesio. Otros cationes en altas concentraciones como el cobre, hierro y magnesio inhiben la absorción del zinc, posiblemente debido a la competencia de los sistemas de transporte al interior de la planta.

En cuanto a las condiciones climáticas, los suelos fríos tienden a reducir la disponibilidad de zinc, y dicha sintomatología se remite cuando el suelo vuelve de nuevo a calentarse después del invierno (Castellanos y col., 2000).

1.1.6.3.7 Molibdeno

La concentración de molibdeno en la corteza terrestre es del orden de 2 ppm, mientras que en el suelo, la concentración total varía de 0.2 a 5 ppm. En solución de suelo la concentración está en el orden de 4 ppb. La deficiencia de molibdeno ocurre principalmente en suelos ácidos con un pH menor que 6.5 a 7. Entre más ácido el suelo más probabilidad de tener deficiencia.

1.2 Taxonomía general de los suelos

Los suelos han sido clasificados en función de sus características de formación y de su grado de intemperización, con el fin de facilitar su descripción.

En algunos países del mundo clasifica como FAO-UNESCO (1975). En el caso de México están al alcance del INEGI.

1.2.1 Ordenes de suelos de la clasificación FAO-UNESCO.

1.2.1.1 Acrisol

Palabra proveniente del latín: *Acris* que significa muy ácido. Este suelo tiene acumulación de arcilla en el subsuelo, es ácido o muy pobre en nutrientes en zonas tropicales templadas, muy lluviosas. En condiciones naturales tiene vegetación de selva o bosque. Son de colores rojos o amarillo claro y son susceptibles a la erosión.

1.2.1.2 Andosol

Palabra proveniente del japonés que se compone de dos palabras: *An* que significa oscuro y *do* que significa suelo. Este tipo de suelo se ha formado a partir de cenizas volcánicas. En condiciones naturales, estos suelos tienen vegetación de pino, abeto, encino, etc. Se localiza principalmente en zonas templadas de selva, o zonas tropicales con una capa superficial de color negro. Estos suelos son normalmente ricos en materia orgánica, son sueltos y muy susceptibles a la erosión. Su principal limitación es su alto contenido de aluminio, aunque sin presentar pH muy ácido, como ocurre generalmente en los suelos Acrisoles y suele presentar problemas de fijación de fósforo en un grado de severidad variable.

1.2.1.3 Arenosol

Este suelo, como su nombre lo indica, es rico en arena. Se encuentra en zonas tropicales o templadas y ocasionalmente en zonas áridas. En condiciones naturales tienen vegetación de selva, bosque o matorral, pero en cualquier caso la vegetación es escasa. Se caracterizan por ser suelos de textura muy gruesa. No son suelos aptos para la agricultura por su baja fertilidad. Sin embargo, bajo sistemas de fertirriego pueden ser muy productivos. Su susceptibilidad a la erosión es de moderada a alta.

1.2.1.4 Cambisol

Palabra proveniente del latín *cambiare* que significa cambiar. Este es un suelo joven, poco desarrollado, de cualquier clima, excepto de zonas áridas, con cualquier tipo de vegetación. En el subsuelo tiene una capa con terrones que presentan un cambio con respecto al tipo de roca subyacente, con alguna acumulación de arcilla, calcio, etc. En México normalmente se encuentran en fases líticas, es decir material rocoso subyaciendo al suelo a una somera profundidad, Estos suelos presentan una susceptibilidad de moderada a alta a la erosión.

1.2.1.5 Fluvisol

Palabra proveniente del latín: *Fuvius* que significa río. Este suelo se forma por materiales de depósitos aluviales recientes excepto los marinos, están constituidos por material suelto que no forma terrones y son poco desarrollados, se encuentra en todo tipo de clima, cercano a zonas de acarreo por agua. La vegetación varía desde selva a matorrales y pastizales.

1.2.1.6 Gleysol

Palabra Rusa: Gley que significa masa de suelo fangoso. Se encuentra en casi todos los climas, en zonas donde se acumula y estanca el agua en la época de lluvias, que ocurre durante la mayor parte del año. En la capa saturada con agua, presenta colores azulosos, verdosos o grisáceos que al secarse presentan manchas rojas, su vegetación natural es de pastizal y en zonas costeras cañaveral o tular. Estos suelos en ocasiones presentan acumulaciones de sales y son poco susceptibles a la erosión. Estos suelos son susceptibles de explotación en la medida en que puedan ser drenados.

1.2.1.7 Histosol

Palabra Griega: Histos que significa tejido. Estos son suelos de climas húmedos, templados o cálidos. Se encuentran en zonas pantanosas o en los lechos de antiguos lagos, están en las áreas donde se acumula agua y desechos de plantas sin descomponerse por mucho tiempo. Se caracteriza por tener altas cantidades de materia orgánica en forma de hojarasca, fibras, maderas o humus. La vegetación natural es de pastizal o praderas. No son susceptibles a la erosión.

1.2.1.8 Kastañozem

También conocido como Chernozem, del ruso: Chern, que significa oscuro y Zmelja que significa tierra y del griego Phaios que significa negruzco. Estos son suelos con alta fertilidad natural y niveles moderadamente altos de materia orgánica. Son suelos excelentes para a la agricultura, particularmente bajo condiciones de riego.

1.2.1.9 Litosol

Palabra Griega: *Lithos* que significa piedra. Estos suelos presentan una distribución muy amplia, se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación son suelos sin desarrollo con una profundidad menor que 10 cm. Tienen características muy variables según el suelo que los forma. En cuanto a su susceptibilidad a la erosión, depende de la zona donde se encuentren y puede ser de moderada a alta. Son los suelos típicos de montañas y serranías.

1.2.1.10 Luvisol

Palabra proveniente del latín: Luvo que significa lavar. Este suelo presenta acumulación de arcilla en el subsuelo. Son de zonas templadas o tropicales lluviosas.

Su vegetación natural es de selvas o bosques. Son rojos o claros y son moderadamente ácidos. Con susceptibilidad alta a la erosión.

1.2.1.11 Nitosol

Palabra proveniente del latín: Nitidus que significa brillante. Se localiza en zonas muy lluviosas, tanto cálidas como templadas. Usualmente se derivan de rocas intrusivas básicas o lavas volcánicas básicas. Su vegetación natural es de bosque o selva y en ellos se producen cultivos tropicales como caña de azúcar, banano y arroz. Se caracterizan por tener un subsuelo enriquecido con arcilla que es muy profundo. Su susceptibilidad a la erosión es de moderada a alta.

1.2.1.12 Phaeozem

Este tipo de suelo tiene una capa superficial oscura suave y rica en materia orgánica y nutrientes, por lo que normalmente se consideran suelos fértiles. Se pueden encontrar desde zonas semiáridas hasta zonas templadas o tropicales, en condiciones naturales tienen casi cualquier tipo de vegetación. Se encuentran en terrenos planos hasta montañosos y la susceptibilidad a la erosión depende del tipo de terreno donde se encuentren.

1.2.1.13 Planosol

Palabra proveniente del latín: *Planus* que significa plano. Este suelo presenta debajo de la capa más superficial una capa más o menos delgada de un material claro, ácido, poco fértil, que a veces impide el paso de las raíces, por debajo de esta capa, se presenta un subsuelo arcilloso e impermeable o bien roca o “tepetate”. Son de climas semiáridos o templados, su vegetación natural es de pastizal y son muy susceptibles a la erosión.

1.2.1.14 Regosol

Se caracterizan por no presentar capas distintas, son claros y se parecen a la roca que les dio origen. Se pueden presentar en muy diferentes climas y con diversos tipos de vegetación. Su susceptibilidad a la erosión es muy variable y depende del terreno en que se encuentran.

1.2.1.15 Rendzina

Estos suelos tienen una capa superficial de materia orgánica que descansa sobre roca caliza o algún material rico en cal, no son muy profundos, son arcillosos y se presentan en climas cálidos o templados, con lluvias moderadas o abundantes. Su susceptibilidad a la erosión es moderada.

1.2.1.16 Solonchak

Se caracterizan por presentar un alto contenido de sales en alguna parte o en todo el perfil. Se presentan en diversos climas y zonas donde se acumulan las sales solubles, no sódicas. Su vegetación, cuando la hay, es pastizal o plantas que toleran las sales. Son poco susceptibles a la erosión. Es común que se localicen en lechos de antiguos lagos.

1.2.1.17 Solonetz

Este suelo tiene un subsuelo arcilloso con alto contenido de álcali de sodio, presenta terrones duros en forma de columnas, son de varios climas y zonas donde se acumulan sales, en particular el sodio. Su vegetación natural, cuando la hay, es pastizal o matorral. Son poco susceptibles a la erosión.

1.2.1.18 Vertisol

Estos suelos presentan grietas anchas y profundas en época de sequía, son suelos muy duros, arcillosos y masivos, frecuentemente negros, grises o rojizos. Son de clima templado y cálido, con una marcada estación seca y otra lluviosa. Su vegetación natural es muy variada. Su susceptibilidad a la erosión es baja.

1.2.1.19 Xerosol

Palabra proveniente del griego Xeros que significa seco. Estos son suelos del semidesierto que ocurren entre los Yermosoles en las partes más secas de la región. En ellos puede haber pastizales y matorrales de desierto aunque pueden ser cultivados con éxito si se dispone de agua para riego.

1.2.1.20 Yermosol

Estos suelos ocurren en la zona más seca contigua a los Xerosoles y son suelos de desierto con muy bajos niveles de materia orgánica. En México ocurren solamente en el norte y noroeste, en las zonas más secas del país y continúan hacia el sur de EU. Estos suelos pueden ser muy productivos si se dispone de agua para riego.

1.2.2 Ordenes de suelos de la clasificación USDA

En otros países como Estados Unidos se utiliza el sistema de clasificación de suelos de la 7ª aproximación, estos órdenes de la clasificación USDA tiene cierta equivalencia con los órdenes de la clasificación FAO-UNESCO.

1.2.2.1 Alfisoles

En este orden podrían quedar englobados los suelos Lluvisoles, Nitosoles, Planosoles y Solonetz de la clasificación FAO-UNESCO.

1.2.2.2 Aridisoles

Este orden de suelos engloba en forma general a los suelos Solonetz, Yermosoles y Xerosoles de la clasificación FAO-UNESCO.

1.2.2.3 Entisoles

En este orden quedan englobados los suelos Aeronosles, Fluvisoles, Regosoles, y Gleysoles de la taxonomía FAO-UNESCO.

1.2.2.4 Histosoles

Solo engloba a los suelos del mismo orden en la taxonomía FAO-UNESCO.

1.2.2.5 Inceptisoles

Aquí podrían quedar englobados los suelos: Andosoles, Fluvisoles, Regosoles y Gleysoles de la taxonomía FAO-UNESCO.

1.2.2.6 Mollisoles

Incluye a los suelos chernozems, Kastañozem, Rendzinas, Gleysoles , Planosoles y Solonchaks de la taxonomía FAO-UNESCO.

1.2.2.7 Oxisoles

Este equivale a los Ferrasoles de la clasificación FAO-UNESCO.

1.2.2.8 Spodosoles

Este orden equivale al de los Spondosoles de la clasificación FAO-UNESCO.

1.2.2.9 Ultisoles

Equivale a los ordenes Acrisoles y Nitosoles de la taxonomía FAO-UNESCO.

1.2.2.10 Vertisoles

Se refiere al mismo orden de suelos que en la clasificación FAO-UNESCO.

1.3 Los pastizales

Conocidos en diferentes lugares del mundo con nombres distintos: estepa, pampa, sabana, planicies o praderas.

Hace tiempo, las praderas ocupaban casi la mitad de los continentes, hoy no alcanzan el 12% de ellos. En Asia y en África Sub-Sahariana se encuentran las extensiones más grandes de pastizales.

En estos biomas, la lluvia puede alcanzar entre 250 a 750 mm anualmente. Las plantas bajas que habitan en ellos, desarrollan extensas raíces para captar la mayor cantidad de agua posible.

Durante el año, los pastizales toman diferentes coloraciones que van desde el verde tierno durante la época de lluvia hasta el café oscuro en las estaciones más secas. La mayor parte de las plantas que las habitan son anuales (Calderón, 1965).

1.3.1 Importancia de los pastizales

Las tierras de pastoreo constituyen un recurso natural renovable, y pueden ser manejadas en forma sustentable, de manera que continúen siendo productivas y ambientalmente estables. Sin embargo, el abuso de las tierras de pastoreo en la región es más la regla que la excepción y no se les da la oportunidad de regenerarse como pueden hacerlo en forma natural. En consecuencia el proceso de desertificación está ampliamente extendido y el potencial de estas tierras se reduce solo a una parte de lo que debiera ser (CONAZA, 1994).

El pasto durante su periodo óptimo de crecimiento es capaz de suministrar todo el alimento necesario para el crecimiento normal y la reproducción de los animales herbívoros; se estima que en Inglaterra proporciona del 60 al 70 % del consumo de los animales (Calderón, 1965).

1.3.2 Las Gramíneas

Los pastos son parte de las gramíneas las cuales son las plantas agrícolas más importantes del mundo (Chapman y Peat, 1995), y es una familia muy importante que consta de unos 650 a 700 géneros y alrededor de 12,000 especies por todo el mundo, muchas de ellas son la base de la alimentación animal (Ramírez, 2007). Se considera que dicha familia ocupa el tercer lugar en nuestro país en cuanto a número de especies de plantas superiores (Beetle, 1987).

Valdés-Reyna y Dávila (1995) estimaron que existen en México aproximadamente 206 géneros y más de 1000 especies, con lo cual podemos presumir que cerca del 50 % de los géneros y del 30 % de las especies se encuentra en Durango (Herrera, 2001), tienen una amplia capacidad de adaptación y rápido crecimiento vegetativo estacional, su dispersión como fruto seco contribuye a su eficiencia, su sistema radicular fibroso permite un máximo de aprovechamiento de agua, nutrientes y retención de suelo (López, 1992).

1.3.3 Descripción general de las Gramíneas

Tienen una estructura vegetativa uniforme, pertenecen a la familia de las monocotiledóneas (Torres, 2002), pueden ser anuales o perenes, casi todas son plantas herbáceas (no leñosas), el tamaño varía desde unos cuantos centímetros hasta veinte metros o más de altura (Hughes y col., 1984). Se caracterizan por estar estructuradas en cinco partes fundamentales: raíz, tallo, hoja, flor y fruto (Lebgue y Valerio, 1991).

Herrera (2001) anota la siguiente descripción general de las gramíneas de Durango: "Plantas anuales o perennes, rara vez arbustos o árboles (bambúes), cespitosas, rizomatosas o estoloníferas; tallos erectos a reptantes, cilíndricos, raramente aplanados, articulados, fistulosos o sólidos en los entrenudos, sólidos en los nudos, generalmente ramificados en la base, ocasionalmente en los nudos superiores; hojas alternas, basales y caulinares, típicamente consistiendo de una vaina, lígula y lámina,

vainas con los márgenes generalmente libres y sobrepuestos o menos frecuentemente connatas, los hombros a veces extendidos hacia arriba como aurículas, lígula una hilera de pelos o una membrana que puede ser pilosa, colocada adaxialmente, en la unión de la vaina con la lámina rara vez faltante, láminas por lo general lineares, a veces lanceoladas a ovadas, aplanadas, conduplicadas o involutas, con nervaduras paralelas, rara vez transversales, en ocasiones amplexicaules o con aurículas falcadas, a veces con la base angosta formando un pseudopecíolo o articuladas con la vaina; inflorescencia compuesta de espiguillas dispuestas en panículas, en espigas o racimos que pueden ser solitarios, digitados o dispuestos a lo largo de un eje central, generalmente terminales, a veces axilares; espiguillas típicamente consistiendo de brácteas dísticas dispuestas a lo largo de una raquilla, las 2 brácteas inferiores llamadas glumas subyacen uno a varios flósculos, a veces con una proyección dura o callo en la base; flósculos bisexuales, unisexuales o estériles, cada flósculo consistiendo de 2 brácteas conocidas como lema (la exterior) y pálea (la interior), que envuelven al flósculo con lodículas, estambres y ginoecio; 1 a 6 estambres, por lo general 3, con filamentos alargados y anteras de 2 tecas que se abren a lo largo, rara vez por un poro terminal, el ovario unilocular con 1 óvulo, estilos generalmente 2, rara vez 1 a 3, estigmas plumosos; fruto usualmente una cariopsis con un pericarpio delgado adnato a la semilla, endospermo duro, en ocasiones líquido. Familia cosmopolita con aprox. 700 géneros y alrededor de 10 000 especies en el Mundo (Clayton y Renvoize, 1986); se estima que existen alrededor de 206 géneros y más de 1000 especies en México (Valdés-Reyna y Dávila, 1995). En Durango reporta 97 géneros, 338 especies”

1.4 Superficie destinada para agostaderos

Del total de 13.6 billones de hectáreas de la superficie del globo terrestre, un tercio son tierra firme, es decir 4.53 billones de hectáreas. Las tierras se dividen en tierras cultivables y tierras no aptas para el cultivo. De las últimas, el 47% corresponde a tierras consideradas como pastizales (Orozco y Lehner, 1997).

En México, casi el 60% del territorio está ocupado por pastizales. Gran parte de las planicies han sido transformadas en zonas de cultivo, muchas de ellas de riego. También han sido transformadas en zonas ganaderas y en ellas se cría una buena parte del ganado que se consume en el mundo.

Se estima que en total la superficie aprovechada por la ganadería en México es superior a los 110 millones de hectáreas, representando aproximadamente el 60% de la superficie del territorio nacional, en donde 107.8 millones de ha corresponden a pastizales y más de 2 millones son superficies agrícolas cuyo producto se destina fundamentalmente al consumo animal (granos forrajeros y forrajes de corte) (SAGARPA, 2008).

El tipo de vegetación natural que cubre los suelos de las zonas semiáridas de México es el pastizal mediano abierto, el cual es considerado como la fuente principal de alimento del ganado que se cría bajo el sistema de producción extensivo. El estado de Durango cuenta con 46 438 km², dentro de las regiones áridas y semiáridas, de pastos naturales que sirven de alimento para bovinos, caprinos, ovinos y equinos, además de la fauna silvestre mayor, destacando, como sistema de producción, la venta de carne en forma de becerros al destete para exportación, y la venta de cabritos en el mercado nacional (Serrato Sánchez y col., 1999).

El estado de Durango cuenta con una superficie de aproximadamente 12 millones de ha., de las cuales 6.1 millones corresponden a pastizales donde se practica la ganadería, la zona de bosque comprenden alrededor de 4.7 millones de ha., donde además de la actividad maderera, la ganadería es también importante (SAGARPA, 2006).

El norte de México presenta en su mayoría pastizales nativos de gran importancia para la ganadería, que desafortunadamente empiezan a tener entre su composición florística especies introducidas. El zacate rosado (*Melinis repens*) es una de estas especies y se presenta principalmente en los estados de Chihuahua, Durango y Sonora. Durango, se encuentra diseminado en la parte central en manchones que han llegado a desplazar casi en su totalidad a la vegetación nativa (Royo, 1988).

1.5 Situación de los agostaderos en México

Los agostaderos se encuentran deteriorados y están constituidos principalmente por pastizales nativos. Recientemente han sido introducidas especies forrajeras mejoradas en explotaciones más tecnificadas, con la finalidad de criar el ganado; además se realizan engordas intensivas (Pérez y Ordaz, 1996), principalmente para el abasto regional.

Extensas áreas de pastizales nativos dentro de las zonas áridas y semiáridas del norte de México se encuentran muy por debajo de su potencial productivo. Estos pastizales han sido utilizados durante muchos años, siguiendo prácticas de sobreutilización y mal manejo de ganado, aunado a la sequía estacional, pudiéndose afirmar que el 80 % sufre algún grado de erosión (Silva y col., 1987).

La condición actual de los agostaderos en Durango es realmente alarmante, este recurso ha sido sobreexplotado por mucho tiempo, esta situación aunado a las sequías recurrentes que se presentan en forma cíclica potencializan la malnutrición de los animales en pastoreo, en la mayoría de los ranchos ganaderos del Estado. En un periodo de 41 años en un promedio de 12 estaciones climatológicas en el estado, 19 años estuvieron por debajo de la media, con cinco años considerados como sequías severas, dos de ellos en 1995 y 1998 (Medina y col., 2005).

Dada la importancia económica que la producción de carne representa en la región de pastizales del Estado, se ha efectuado una gran cantidad de investigación aplicada sobre el suelo, la vegetación y el animal. Sin embargo, se desconoce la existencia de estudios básicos que expliquen la relación o dependencia, así como su magnitud, que guardan un conjunto de variables de la vegetación natural con el conjunto de variables del suelo lo que motivó la realización de este estudio (Serrato Sánchez y col., 1999).

El estado de Durango depende grandemente del sector primario, siendo la ganadería una de las actividades económicas más importantes dentro de este sector. El rubro de la ganadería de carne es una importante fuente de ingresos, ya que la mayor

parte de la población rural depende en una u otra forma de esta actividad (SAGARPA, 2006).

1.6 Valor nutricional del forraje

La sobrevivencia, el crecimiento y la producción de los animales en pastoreo dependen de los nutrientes proporcionados por las plantas forrajeras que componen el pastizal. El valor nutricional varía dependiendo de la composición botánica del pastizal, de la variación a través del año, del tipo de animales y de sus hábitos de pastoreo, de los requerimientos nutricionales de los animales y de las interacciones entre los animales y las plantas forrajeras (Van Soest, 1982).

Según Oelberg (1956), el valor nutritivo de cualquier forraje depende de su contenido de nutrientes productores de energía, así como del contenido de nutrientes esenciales para el organismo, tales como: proteína, minerales y vitaminas.

El alto valor nutritivo de las buenas pasturas puede demostrarse por la producción lechera, el crecimiento rápido de los animales jóvenes y el engorde y buen estado de los que se destinan al mercado (Semple, 1974).

Otro criterio para la evaluación nutritiva de las plantas forrajeras de los pastizales es el grado en el cual llenan los requerimientos nutricionales de las diferentes clases de animales, para niveles específicos de producción (Raleigh, 1970).

Para un buen aprovechamiento de los agostaderos, es necesario realizar evaluaciones regulares del mismo, y determinar cuáles son las mejores alternativas de producción; para así llevar a cabo una explotación racional, de manera de preservar las especies forrajeras y lograr su productividad (Narro y Ramírez, 1991)

Un buen pasto suele proporcionar el alimento más económico para el ganado vacuno, las ovejas y los caballos durante el periodo de actividad vegetativa del año (Morrison, 1985).

La adecuada nutrición depende de cuatro factores básicos: Los requerimientos del animal; el contenido de nutrimentos; la digestibilidad del alimento; y el consumo voluntario. Indudablemente la variación en el consumo voluntario es el principal factor que determina el nivel y la eficiencia de producción y esta variación es mayor y menos predecible en rumiantes en pastoreo. La nutrición tiene características y problemas únicos, los requerimientos nutricionales son difíciles de determinar, debido a que pueden ser alterados por la actividad de pastoreo, el movimiento y factores ambientales, como las temperaturas extremas (Castañeda Nieto y col., 2005).

1.7 Composición botánica del forraje

La determinación de la composición botánica de la dieta de los animales en pastoreo es de gran importancia para la óptima explotación de los diferentes tipos de plantas presentes en los pastizales. La información obtenida en este tipo de estudios, es de gran utilidad para determinar las especies animales más apropiadas para el pastoreo en diferentes comunidades vegetales, seleccionar las especies de plantas más adecuadas para resiembra de pastizales deteriorados y para predecir la consecuencia del pastoreo por diferentes especies animales (Holecheck y Vavra, 1982). El relacionar los resultados de los trabajos sobre la composición botánica de la dieta, con aquellos relativos a la composición florística, puede ofrecer valiosa información sobre el potencial de utilización de la vegetación que predomina en un sitio de estudio determinado.

Los resultados reportados por algunos investigadores, respecto a la composición botánica de la dieta consumida por ganado en pastoreo indican, según lo menciona Fierro (1980), que la composición botánica de la dieta de los animales varía marcadamente bajo diferentes condiciones del pastizal, debido principalmente a la diversidad de especies que componen el pastizal, y a los cambios en la condición y calidad del forraje disponible para los animales en pastoreo.

1.8 Composición química del forraje

El análisis químico de las plantas de pastizal es frecuentemente usado para estimar el contenido de nutrientes del forraje potencialmente disponible para los animales en pastoreo. En este sentido, se tiene perfectamente definido que existen factores que afectan la composición química de la vegetación del pastizal, tales como: la especie vegetal, precipitación pluvial, estación de crecimiento, fertilidad del suelo y temperatura ambiental, entre otros (Pieper y col., 1978). El contenido de nutrientes de los forrajes seleccionados por los rumiantes durante el pastoreo, también varía a lo largo de las diferentes estaciones, y probablemente a lo largo de la misma estación en diferentes años (Rosiere y col., 1980).

En el sistema de producción animal en pastoreo, es importante determinar cualitativa y cuantitativamente la dieta consumida por los bovinos. De esta manera se puede contar con elementos para conocer la dinámica de los nutrientes a través del año y detectar en que épocas se presentan deficiencias. Este conocimiento es básico para elaborar estrategias que mejoren la nutrición y la productividad del ganado bovino.

1.8.1 Características del análisis químico proximal de las variedades de pastos.

1.8.1.1 Humedad

La determinación de humedad puede ser el análisis más importante llevado a cabo en un producto alimentario y, sin embargo, puede ser el análisis del que es más difícil obtener resultados exactos y precisos. La materia seca que permanece en el alimento posterior a la remoción del agua se conoce como sólidos totales.

El contenido de humedad de los alimentos varía enormemente. El agua es un constituyente principal en la mayoría de los productos alimenticios (Ranganna, 1977).

Todos los alimentos, cualquiera que sea el método de industrialización a que hayan sido sometidos, contienen agua en mayor o menor proporción. Las cifras de

contenido en agua varían entre un 60 y 95% en los alimentos naturales. El agua puede decirse que existe en dos formas generales: "agua libre" y "agua ligada". El agua libre o absorbida, que es la forma predominante, se libera con gran facilidad y es estimada en la mayor parte de los métodos usados para el cálculo del contenido en agua. El agua ligada se halla combinada o absorbida. Se encuentra en los alimentos como agua de cristalización (en los hidratos) o ligadas a las proteínas. Estas formas requieren para su eliminación, en forma de vapor, un calentamiento de distinta intensidad. Parte de la misma permanece ligada al alimento incluso a temperatura que lo carboniza. El "% de agua" no significa nada, a menos que se indique el método de determinación usado.

La capacidad de campo define la cantidad de agua que permanece en el suelo después de que se ha detenido el flujo gravitacional. La cantidad de agua presente en el suelo después de que las plantas llegan a marchitez permanentemente se denomina punto de marchitez permanente. El agua disponible para la planta es aquella que se encuentra en el suelo entre la capacidad de campo y la marchitez permanente.

Algunas razones para determinar el contenido de humedad de un alimento son:

El agua, si está presente por encima de ciertos niveles, facilita el desarrollo de los microorganismos.

La humedad debe ajustarse adecuadamente para facilitar la molienda.

La cantidad de agua presente puede afectar la textura.

La determinación del contenido de agua representa una vía sencilla para el control de la concentración en las distintas etapas de la fabricación de alimentos.

Los materiales pulverulentos se aglomeran en presencia de agua (Castillo, 1997).

1.8.1.2 Cenizas

La ceniza es el residuo inorgánico de una muestra incinerable. Se determina con el propósito de analizar el mineral, de definir en cantidad la materia orgánica y el total de nutrimentos digeribles, para señalar la presencia de adulterantes minerales. La adición de material mineral extraño no siempre es consecuencia de una acción intencional humana muchos campos tienen depósitos de polvo traído por el viento; el polvo se deposita poco a poco, y no se puede eliminar de la planta sin lavarla; si la muestra se recoge llena de polvo es virtualmente imposible eliminar la contaminación sin lixiviar los carbohidratos más solubles (Bateman, 1970).

La determinación de la cenizas proporciona un índice que se utiliza junto con otros para caracterizar y evaluar la calidad del alimento en cuestión.

Se diferencia la incineración seca (combustión) de la húmeda (mineralización).

El residuo obtenido por incineración directa de una muestra de alimento puede contener, además de las sustancias minerales del alimento, partículas de carbón procedentes de una combustión incompleta, o también impurezas del alimento (arena, arcilla); por ello este residuo se denomina también ceniza bruta o mejor residuo de incineración. La ceniza limpia es la diferencia entre la ceniza bruta y el contenido de carbón e impurezas (Mattisek, 1998).

1.8.1.3 Proteína

Los métodos para la cuantificación del contenido proteico se basan en distintos principios:

- a) Determinación del contenido de nitrógeno (método de Kjeldahl)
- b) Reacción química del enlace peptídico y posterior medida fotométrica (Vg. Método de Biuret)

- c) Reacción química de determinados aminoácidos en la proteína y posterior medida fotométrica (Vg. Determinación del reactivo Folin-Ciocalteu; reacciona fundamentalmente la tirosina)
- d) Medida de absorción ultravioleta.
- e) Medida de la turbidez por floculación de la proteína disuelta mediante un precipitante de proteínas (Mattisek, 1998).

Como consecuencia de la estructura a base de aminoácidos individuales, el contenido en nitrógeno de las proteínas varía solo entre unos límites muy estrechos (15-18%; en promedio 16%). Para la determinación analítica del contenido en proteína total o proteína bruta, se determina por lo general el contenido de nitrógeno tras eliminar la materia orgánica con ácido sulfúrico (Método de Kjeldahl), calculándose finalmente el contenido de proteína con ayuda de un factor (en general $F = 6.25$) (Mattisek, 1998).

El método Kjeldahl se usa para determinar el nitrógeno total en muchos laboratorios industriales y científicos. El principio básico de este método es la conversión del nitrógeno de las sustancias nitrogenadas en amonio, hirviéndolas en ácido sulfúrico concentrado (Bateman, 1970).

En estudios de nutrición se acostumbra convertir la información sobre el nitrógeno en datos que indiquen el contenido de proteína. Las proteínas cambian de acuerdo con el producto. Por fortuna, son lo suficientemente constantes dentro de una clase para poder hacer factible el uso de factores de conversión (Bateman, 1970).

El selenio no puede recomendarse como un agente catalítico para uso general en el método Kjeldahl, debido a que una digestión muy prolongada puede resultar en una pérdida de nitrógeno. Sin embargo, es muy conveniente, para digestiones que duran menos de una hora. Los tejidos de las plantas rara vez toman más de 45 min., y por tanto caen bien dentro de estos límites (Bateman, 1970).

1.8.1.4 Grasa

Las grasas verdaderas, o triglicéridos, son compuestos orgánicos carentes de nitrógeno, que se forman en el metabolismo vegetal y animal y que poseen desde un punto de vista fisiológico un elevado valor calorífico. Son los nutrientes con mayor poder energético (1 gr. de grasa = 9,3 cal = 38,9kJ). Las grasas por lo general, se encuentran asociadas con numerosas sustancias acompañantes (lipoides), estrechamente relacionadas biogénicamente unas con otras. Las grasa y sus sustancias acompañantes, que en conjunto se denominan también lípidos, se diferencian entre sí básicamente por su estructura química, aunque presentan en su totalidad propiedades físico-químicas similares. Este comportamiento físico-químico se emplea en la analítica, por lo que la extracción con disolventes orgánicos es un procedimiento para la determinación el contenido total de grasa. Esta medida tiene importancia para evaluar el valor nutritivo, en los controles de calidad y para el reconocimiento de falsificaciones.

La grasa libre se determina por extracción directa, mientras que la denominada grasa total incluye tanto la grasa libre como la ligada y las sustancias acompañantes solubles en disolventes orgánicos debido al tratamiento ácido empleado.

El denominado contenido en grasa libre se determina por extracción directa con éter dietílico o éter de petróleo. Este método no es igualmente apropiado para todos los grupos de alimentos, porque existen casos en los que no se puede determinar la cantidad de lípidos totales. Los lípidos se encuentran con frecuencia rodeados por carbohidratos o proteínas y solo se recogen en parte por extracción si no ha habido tratamiento previo.

Tiene una importancia esencial que la muestra sea anhidra porque el éter dietílico se disuelve parcialmente en agua que a su vez extraerá azúcares, entre otras compuestos, durante la extracción de la grasa (Mattisek, 1998).

1.8.1.5 Fibra

En todo el mundo se emplea la fibra cruda para caracterizar los alimentos. La fibra cruda es parte del análisis proximal, y no se ha podido desarrollar hasta el momento ningún sistema de aceptación universal. El procedimiento en si es empírico; como en cualquier método empírico, es necesario seguir estrictamente el procedimiento para reducir al mínimo las variaciones.

Es difícil determinar la fibra con precisión. Al terminar la determinación de fibra debe asociarse estrictamente con indigestibilidad. La fibra debe tener celulosa y lignina con pocas sustancias nitrogenadas. El método para la determinación de fibra detergente acida, se usa para separar la proteína de otras sustancias del alimento. El reflujo con un detergente acido evita la necesidad de un reflujo con una solución alcalina. El nitrógeno se remueve y la lignina permanece en el residuo de la fibra cruda (Bateman, 1970).

En el método para la determinación de fibra detergente neutra, el extracto libre de nitrógeno no contiene ninguna celulosa pero puede contener hemicelulosa y algo de lignina, según el alimento bajo análisis. Además puede contener todos los productos solubles en agua que son insolubles en éter como por ejemplo, las vitaminas hidrosolubles. La mayor parte del extracto libre de nitrógeno se compone de almidón y azúcares. Son precisamente estos productos de alta energía los que le dan tanto valor al contenido de estrato libre de nitrógeno de un alimento. En algunos alimentos, por ejemplo los granos, el extracto libre de nitrógeno es sinónimo de almidón y azúcar.

1.9 Composición mineral del forraje

Aunque los minerales sólo constituyen de un cuatro a un seis por ciento del cuerpo de los animales vertebrados, son muy importantes en la nutrición animal, ya que desempeñan diversas funciones vitales en el organismo animal, y una deficiencia o un exceso de alguno de ellos, puede ocasionar problemas en el comportamiento

productivo y/o reproductivo, o bien daños más severos al ganado (Georgievskii y col., 1982; McDowell, 1992).

Según McDowell y col. (1979), universalmente se presentan problemas nutricionales en el ganado, y concretamente acerca de los minerales mencionan que en muchas áreas de Latinoamérica y del mundo entero, se han detectado numerosas deficiencias, toxicidades y desbalances de minerales, los cuales limitan severamente la industria ganadera, ya que con excepción de la sal común, el ganado en pastoreo, frecuentemente no recibe la suplementación mineral necesaria y depende grandemente de los forrajes para cubrir sus requerimientos.

Además de los elementos que componen la materia orgánica, se considera que para los animales existen por lo menos 16 minerales esenciales (NRC, 1984). De este modo, el calcio y el fósforo se reconocen entre los minerales que deben ser consumidos por los animales en cantidades relativamente grandes. En particular, el calcio es un elemento que se acumula en grandes cantidades en los suelos de regiones semiáridas (Ortiz, 1977) y, aun cuando la concentración de calcio y fósforo sea adecuado para las plantas, las elevadas concentraciones de calcio en los suelos, interfieren en la disponibilidad del fósforo y se producen deficiencias de este mineral en los tejidos vegetales. Es así como la dieta consumida por el ganado presenta deficiencias de este elemento.

El fósforo, al igual que el calcio está relacionado con problemas de raquitismo y osteomalacia (Church y Pond, 1976), además de que su carencia provoca trastornos en la fertilidad del ganado (NRC, 1984). Numerosas investigaciones se han realizado para predecir la condición mineral o corporal del ganado en pastoreo por medio de muestras obtenidas de forraje, agua, suelos y tejidos animales (Mejía y col., 1992). También es importante señalar que el beneficio que se obtiene con la suplementación mineral al ganado en pastoreo ha sido ampliamente documentado (Lebdosoecojo y col., 1980), observándose gran cantidad de estudios con ganado bovino en otras latitudes.

1.9.1 Importancia de los nutrientes primarios para la planta

1.9.1.1 Nitrógeno

El Nitrógeno es un elemento primario de las plantas, se puede encontrar en los aminoácidos, por tanto forma parte de las proteínas, en las amidas, la clorofila, hormonas, nucleótidos, vitaminas, alcaloides y ácidos nucleicos (Seoanez, 1996).

El contenido de N en la biomasa de las plantas varía desde un 1 hasta un 5% y dicho nutriente es absorbido bajo la forma de NO_3^- y/o NH_4^+ . En suelos húmedos, templados y bien aireados la forma de N predominante es el NO_3^- , encontrándose en concentraciones muy superiores al NH_4^+ . Ambos iones se mueven hacia las raíces de las plantas por flujo masal y difusión.

Además del rol del N en la formación de proteínas, dicho nutriente es parte integral de la molécula de clorofila, la cual absorbe la energía de la radiación solar, necesaria para la fotosíntesis. Un adecuado abastecimiento de N se traduce en elevadas tasas de división y diferenciación celular y en una alta actividad fotosintética, lo que se traduce en una elevada eficiencia de intercepción y de conversión de la radiación interceptada por los cultivos en biomasa vegetativa y/o reproductiva (Echeverría y Sainz Rozas, 2005).

La deficiencia de N en plantas disminuye el crecimiento, las hojas son pequeñas y tampoco se puede sintetizar clorofila, de este modo aparece clorosis (hojas de color amarillo). La clorosis empieza en las hojas de mayor edad o inferiores, estas pueden llegar a caerse y si la carencia es severa puede aparecer clorosis en las hojas más jóvenes (Seoanez, 1996).

1.9.1.2 Fosforo

Forma parte de un gran número de compuestos orgánicos esenciales, incluyendo aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos y clorofila. Las cantidades requeridas de fosforo por las plantas, en la solución del suelo, son muy bajas y siempre hay un flujo de la fase mineral y orgánica hacia la fase soluble. La adecuada nutrición de fosforo mejora la fisiología de la planta en relación con los procesos de: fotosíntesis, fijación de nitrógeno, floración y fructificación. Por otro lado, el crecimiento de raíces laterales se ve favorecido por la nutrición del fosforo (Castellanos y col., 2000).

1.9.1.3 Potasio

El potasio es uno de los elementos esenciales de las plantas y que necesita en mayor cantidad (IPNI, 2011), participa en: la activación de muchas enzimas, las relaciones hídricas, la transpiración, las relaciones energéticas, la translocación de asimilados, la absorción de nitrógeno, la síntesis de proteínas y los sistemas de defensa de las plantas (Castellanos y col., 2000).

La deficiencia de potasio retarda el desarrollo y crecimiento de la planta, además, la deficiencia de potasio aumenta la vulnerabilidad del cultivo a enfermedades y lo hace menos resistente a condiciones de *stress* tales como sequías, heladas etc. Esto es debido, en parte, a que la velocidad relativa de crecimiento está relacionada con el transporte de potasio de la raíz al tallo y a las hojas. Cuando el abastecimiento de potasio es insuficiente, la eficiencia del uso del agua por la planta es baja, por lo que hay pérdida de turgencia en las hojas y en consecuencia, las células en los tejidos de las plantas, que se encuentran bajo estrés hídrico, detienen su crecimiento lo que ocasiona hojas flácidas y plantas más pequeñas (IPNI, 2011).

1.9.2 Importancia de los nutrientes secundarios para la planta

1.9.2.1 Calcio

Es un nutrimento esencial en la formación de compuestos que forman parte de la estructura de la pared celular como el pectato de calcio que une las paredes primarias de las células adyacentes. Este elemento fortalece la estructura de las plantas, coadyuva en varios sistemas enzimáticos, ayuda a reducir la acidez del suelo, y beneficia a la planta al reducir el efecto negativo del aluminio y manganeso. El síntoma más común de la deficiencia de calcio es un pobre crecimiento radical. Las raíces con deficiencia se tornan negras y se pudren. Las hojas nuevas y otros tejidos en crecimiento desarrollan el síntoma de detener su desarrollo e incluso mueren (Castellanos y col., 2000).

1.9.2.2 Magnesio

El magnesio forma parte esencial de la molécula de clorofila y es necesario para la actividad de muchas enzimas, incluyendo aquellos pasos más importantes en la actuación del ATP. Es esencial para mantener la estructura del ribosoma en la célula (Castellanos y col., 2000).

1.9.2.3 Azufre

Sus principales funciones dentro de la planta son: la síntesis de aminoácidos cisteína, cistina y metionina, la formación de clorofila, la síntesis de algunas vitaminas, la formación de glucósidos, la formación de ferredoxinas, y la participación en la actividad de la ATP sulfurilaza (Castellanos y col., 2000).

1.9.3 Importancia de los micronutrientes para la planta

1.9.3.1 Boro

Los contenidos de boro en la planta están en el orden de 2 a 200 ppm. En cultivos de demanda alta, el intervalo de suficiencia es de 30 ppm y en los de demanda baja es del orden de 5 ppm. El boro es tomado por la raíz en forma pasiva mediante flujo de masa a través de la transpiración, como ion borato o molécula completa de ácido bórico. El boro lleva un transporte unidireccional por el xilema mediante la corriente transpiratoria y es almacenado como borato. Su deficiencia se manifiesta primero en las hojas jóvenes y en los ápices de crecimiento. Cumple con muchas funciones metabólicas, entre las que destacan: la síntesis de hormonas y regulación de auxinas, transporte de carbohidratos, desarrollo apical del tallo y raíz, y la polinización y amarre del fruto (Castellanos y col., 2000).

1.9.3.2 Cloro

El cloro tiene una importante cantidad de funciones en las plantas, entre las cuales se pueden destacar: su participación dentro del proceso fotosintético, su colaboración en la división celular de hojas y raíces, y su participación en la actividad osmótica de los solutos.

Rara vez se pueden ver síntomas de la carencia de este nutriente en las plantas, esto se debe a su alta solubilidad y disponibilidad en el suelo y porque también puede ser transportado por la humedad ambiental a grandes distancias, pudiendo por otro lado, las plantas absorberlo por vía foliar, en este aspecto, los océanos y lagunas con cierto grado de salinidad son grandes proveedores de cloro al aire atmosférico.

La absorción del cloro por las plantas está relacionada a la presencia de otros nutrientes en el medio, por ejemplo, cuando nitratos y sulfatos están presentes en altas concentraciones, la absorción de cloro se ve disminuida. Este antagonismo

entre estos nutrientes ha sido observado en varias especies vegetales como: papa, remolacha azucarera, rye grass perenne, etc. (Ventimiglia y Camarasa, 2009).

1.9.3.3 Cobre

La principal función del cobre es participar como coenzima en varios sistemas enzimáticos involucrados en formar y convertir aminoácidos. Es componente de los cloroplastos y participa activamente en la síntesis de clorofila, proteínas y polifenoloxidasas. Se le atribuye un papel importante en el desarrollo y color a los frutos. Su movilidad en la planta es media. Su contenido en la planta varía de 1 a 25 ppm. Las plantas con alta demanda tienen valores críticos de 7 ppm, mientras que las de baja demanda presentan un valor crítico de 4 ppm. Este micronutriente tiene un rango estrecho entre deficiencia y toxicidad (Castellanos y col., 2000).

1.9.3.4 Hierro

Es un elemento necesario en la síntesis de la clorofila, y forma parte esencial del citocromo, el cual actúa como portador de electrones en la fotosíntesis y en la respiración. Sirve como catalizador en la división celular y en los procesos de crecimiento. Forma parte esencial de la ferredoxina, de la nitrato reductasa y de la nitrogenasa, esta última durante la fijación biológica de nitrógeno y es además un activador de muchas otras enzimas. Su movilidad en la planta es muy baja y su contenido total varía de 20 a 3000 ppm aunque el intervalo adecuado varía de 50 a 300 ppm. En condiciones de alta demanda, su valor crítico en la planta es de 160 ppm y en condiciones de demanda baja es de 30 ppm (Castellanos y col., 2000).

1.9.3.5 Manganeseo

Su movilidad en la planta es media. El manganeseo participa en la síntesis de clorofila, asimilación de nitratos, funciona en la síntesis de vitaminas como:

riboflavina, ácido ascórbico y carotina. También participa en la fotosíntesis, fotólisis del agua, en la asimilación de CO₂, en las reacciones de oxidación-reducción, así como en la toma y transporte de nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, y se le atribuye un importante papel en la germinación y madurez fisiológica del grano (Castellanos y col., 2000).

1.9.3.6 Zinc

El zinc es un elemento esencial en la síntesis de proteína y participa activamente en la formación de almidones y promueve la maduración y producción de la semilla. Es un elemento ligeramente móvil en la planta. Su deficiencia retarda el crecimiento y provoca el acortamiento de los entrenudos, formando arrojamiento en algunas plantas.

1.9.3.7 Molibdeno

La principal función del molibdeno es participar en la actividad de la enzima nitrato reductasa y en la actividad de la enzima nitrogenasa que lleva a cabo la reducción de nitrógeno elemental de la atmósfera a aminoácidos dentro de la planta. Las leguminosas son las plantas de mayor demanda. Los cultivos más sensibles a su deficiencia son: la mayoría de las leguminosas, las crucíferas, los cítricos, betabel, algodón, lechuga, tomate, espinaca, maíz dulce y papas. Debido a las dificultades de analizar este elemento en la planta, la deficiencia se diagnostica por un elevado nivel de nitratos en extracto celular de peciolo, en el peciolo seco o en la hoja completa de la planta. Su concentración en la planta varía típicamente de menos de 0.05 a 1 ppm, cantidades muy difíciles de ser analizadas con precisión, motivo por el cual esta no es una determinación de rutina en el suelo, ni en la planta (Castellanos y col., 2000).

II. JUSTIFICACIÓN

Durango un estado eminentemente ganadero, ubicándose en el sexto lugar a nivel nacional. El 80% de la superficie utilizada para esta actividad tiene algún grado de erosión lo que probablemente tiene consecuencias en la presencia y calidad de las especies vegetales.

A pesar de la importancia de la actividad ganadera en el Estado, se han realizado muy pocos estudios de investigación enfocados al mejoramiento de la producción animal, y más pocos relacionados con la influencia del suelo en la calidad de las especies forrajeras de pastos.

El determinar cuánto, cuando y cuáles son los elementos que están presentes en el forraje y su relación con el suelo, nos permitirá aplicar técnicas de conservación y manejo de los pastizales que conlleven a una mayor producción y un menor deterioro del ecosistema.

Para un buen aprovechamiento de los agostaderos, es necesario realizar evaluaciones de los mismos, y determinar cuáles son las mejores alternativas de producción; para así llevar a cabo una explotación racional, de manera de preservar las especies forrajeras y lograr su productividad.

III. OBJETIVO

Determinar la influencia de la composición del suelo en la calidad de los pastos *Bouteloua gracilis*, *Bouteloua curtipendula*, *Bothriochloa barbinodis* y *Melinis repens* en las localidades de Torreón de Cañas, El Arenal, El Sagal, Los Lobos y Los Adobes del estado de Durango.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización

El presente trabajo se realizó en las áreas ganaderas representativas del Estado. Los ranchos donde se llevo a cabo el estudio son: El Arenal, El Sagal, Los Adobes, Los Lobos y Torreón de Cañas, todos ellos en la región del semidesierto.

4.1.1 Ubicación y características de las áreas de estudio

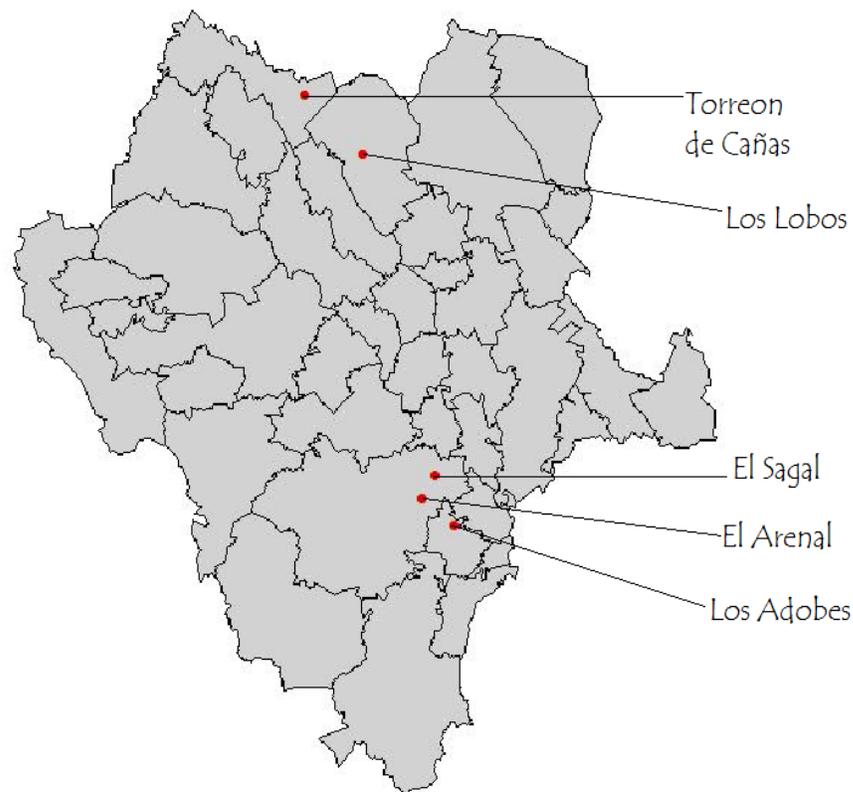


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo en el estado de Durango.

Los Adobes: Municipio de Nombre de Dios. Se ubica a 23°55'14.5" de Latitud Norte y a 104°12'07.2" Longitud Oeste, a una altitud de 1,850 a 2,100 msnm. El clima de esta región es seco templado con verano cálido, con una temperatura media anual de 15 a 18 °C, precipitación pluvial de 450 a 500 mm al año, régimen de lluvias en verano, época de secas de 7 a 8 meses y periodo libre de heladas de 210 días. Los tipos de suelo dominantes de la región son el Kastañozem y el Litosol. El tipo de roca dominante es Ígnea Extrusiva. Las gramíneas más comunes son: navajita (*Bouteloua gracilis*), navajita delgada (*B. radicata*) banderilla (*B. curtipendula*), navajita velluda (*B. hirsuta*), zacate lobero (*Lycurus phleoides*), zacate tres barbas (*Aristida divaricata*, *A. ternipes*, *A. glauca*, *A. orcuttiana* y *A. adscensionis*), stipa (*Stipa eminens*), zacate chino (*Hilaria cenchroides*), zacate guía (*Panicum obtusum*), pelillo (*Muhlenbergia repens*), pata de gallo (*Chloris submutica*), abrojo (*Cenchrus myosuroides*), zacate mota (*Chloris virgata*), pajón o zacatón alcalino (*Sporobolus airoides*), zacate búfalo (*Buchloe dactyloides*), popotillo plateado (*Bothriochloa barbinodis*), zacate azucarado (*A. saccharoides*), tempranero (*Setaria macrostachya* y *S. viridis*), zacate ladera (*Elyonurus barbiculmis*), cola de zorra (*Enneapogon desvauxii*), algodóncillo (*Pennisetum villosum*), zacate amor (*Eragrostis intermedia*), zacate colorado (*Heteropogon contortus*), liendrillas (*Muhlenbergia rigida*, *M. emersleyi*), y otras (COTECOCA, 1973).

El Arenal: Municipio de Durango. Se ubica a 24°04'03.57" de Latitud Norte y a 104°26'57.97" Longitud Oeste, a una altitud de 1,800 a 1,950 msnm. El clima de esta región es seco templado con verano cálido, con una temperatura media anual de 15 a 18 °C, precipitación pluvial de 450 a 500 mm al año, régimen de lluvias en verano, época de secas de 7 a 8 meses y periodo libre de heladas de 210 días. Los tipos de suelos dominantes de la región son el Litosol y Cambisol. El tipo de roca dominante de la región es Ígnea Extrusiva. Las gramíneas más comunes son: navajita (*Bouteloua gracilis*), navajita delgada (*B. radicata*) banderilla (*B. curtipendula*), navajita velluda (*B. hirsuta*), zacate lobero (*Lycurus phleoides*), zacate tres barbas (*Aristida divaricata*, *A. ternipes*, *A. glauca*, *A. orcuttiana* y *A. adscensionis*), stipa

(*Stipa eminens*), zacate chino (*Hilaria cenchroides*), zacate guía (*Panicum obtusum*), pelillo (*Muhlenbergia repens*), pata de gallo (*Chloris submutica*), abrojo (*Cenchrus myosuroides*), zacate mota (*Chloris virgata*), pajón o zacatón alcalino (*Sporobolus airoides*), zacate búfalo (*Buchloe dactyloides*), popotillo plateado (*Bothriochloa barbinodis*), zacate azucarado (*Bothriochloa saccharoides*), tempranero (*Setaria macrostachya* y *S. viridis*), zacate ladera (*Elyonurus barbiculmis*), cola de zorra (*Enneapogon desvauxii*), algodoncillo (*Pennisetum villosum*), zacate amor (*Eragrostis intermedia*), zacate colorado (*Heteropogon contortus*), liendrillas (*Muhlenbergia rigida*, *M. emersleyi*), y otras (COTECOCA, 1973).

Los Lobos: Municipio de Hidalgo, se localiza en el kilómetro 236 de la carretera Durango -Parral. Se ubica a 25°47'38.5" de Latitud Norte y a 104°40'39.5" Longitud Oeste, a una altitud de 1,700 a 2,000 msnm. El clima de esta región es seco templado, con verano cálido, con una temperatura media anual de 15 a 18 °C, la precipitación pluvial es de 400 a 500 mm al año, con un régimen de lluvias en verano, la época de secas es de 7 a 8 meses y tiene un periodo libre de heladas de 200 días. Los tipos de suelo dominantes de esta zona son el Xerosol, Kastañosem y Litosol. El tipo de roca dominante en esta región es Sedimentaria. Las especies de gramíneas que lo caracterizan son: navajita (*Bouteloua gracilis*), pajón (*Sporobolus airoides*), banderilla (*Bouteloua curtipendula*), zacate lobero (*Lycurus phleoides*), tres barbas (*Aristida divaricata*, *A. glauca*), zacate guía (*Panicum obtusum*), pata de gallo (*Chloris submutica*), gigante (*Leptochloa dubia*), tridente (*Tridens grandiflorus*, *T. muticus*) y zacate chino (*Hilaria cenchroides*) (COTECOCA, 1973).

El Sagal: Municipio de Durango. Se ubica a 24°08'13.68" de Latitud Norte y a 104°18'38.23" Longitud Oeste, a una altitud de 1,850 a 2,100 msnm. El clima de esta región es seco templado con verano cálido, con una temperatura media anual de 15 a 18 °C, precipitación pluvial de 450 a 500 mm al año, régimen de lluvias en verano, época de secas de 7 a 8 meses y periodo libre de heladas de 210 días. Los tipos de suelos dominantes de la región son el Litosol y Cambisol. El tipo de roca que domina en la región es Ígnea Extrusiva. Las gramíneas más comunes son: navajita (*Bouteloua gracilis*), navajita delgada (*B. radicata*) banderilla (*B. curtipendula*),

navajita velluda (*B. hirsuta*), zacate lobo (*Lycurus phleoides*), zacate tres barbas (*Aristida divaricata*, *A. ternipes*, *A. glauca*, *A. orcuttiana* y *A. adscensionis*), stipa (*Stipa eminens*), zacate chino (*Hilaria cenchroides*), zacate guía (*Panicum obtusum*), pelillo (*Muhlenbergia repens*), pata de gallo (*Chloris submutica*), abrojo (*Cenchrus myosuroides*), zacate mota (*Chloris virgata*), pajón o zacatón alcalino (*Sporobolus airoides*), zacate búfalo (*Buchloe dactyloides*), popotillo plateado (*Bothriochloa barbinodis*), zacate azucarado (*Bothriochloa saccharoides*), temprano (*Setaria macrostachya* y *S. viridis*), zacate ladera (*Elyonurus barbiculmis*), cola de zorra (*Enneapogon desvauxii*), algodóncillo (*Pennisetum villosum*), zacate amor (*Eragrostis intermedia*), zacate colorado (*Heteropogon contortus*), liendrillas (*Muhlenbergia rigida*, *M. emersleyi*), y otras (COTECOCA, 1973).

Torreón de Cañas: Municipio de Ocampo, se localiza en el kilómetro 319 de la carretera Durango - Parral. Se ubica a 26°20'38.5" de Latitud Norte y a 105°13'24.7" Longitud Oeste, a una altitud de 1,900 a 2,050 msnm. El clima de esta región es seco templado, con verano cálido, con una temperatura media anual de 16 a 18 °C, precipitación pluvial de 400 a 500 mm al año, régimen de lluvias en verano, época de secas de 7 a 8 meses y periodo libre de heladas de 200 días. Los tipos de suelo que dominan en la región son Phaeozem, Kastañozem y Litosol. El tipo de roca dominante en esta región es Sedimentaria. Las especies de gramíneas que lo caracterizan son: navajita (*Bouteloua gracilis*), banderilla (*Bouteloua curtipendula*), navajita velluda (*B. hirsuta*), navajitas anuales (*B. simplex*, y *B. barbata*), gigante (*Leptochloa dubia*), temprano (*Setaria macrostachya*), lobo (*Lycurus phleoides*), tres barbas (*Aristida divaricata*, *A. adscensionis*, y *A. glauca*), popotillo plateado (*Bothriochloa barbinodis*), zacate cola de zorra (*Enneapogon desvauxii*), zacate chino (*Hilaria cenchroides*), zacate guía (*Panicum obtusum*), Azucarado (*Bothriochloa saccharoides*), tridente (*Tridens grandiflorus*), stipa (*Stipa eminens*), liendrillas (*Muhlenbergia rigida*, *M. emersleyi* y *M. dubia*) y zacate borreguero (*Dasyochloa pulchella*) (COTECOCA, 1973).

4.2 Muestreo

La toma de muestras se realizó en temporada de secas. Se hicieron quince líneas Canfield por cada 200 hectáreas, haciéndose a 50 metros de distancia una de otra, con una longitud de 20 metros cada línea, evitando hacer muestreos a doscientos metros a la redonda de áreas de alimentación y de aguaje. En cada línea Canfield se muestreó suelo y las especies botánicas presentes de interés.

4.2.1 Muestreo de suelo

Las muestras de suelo se tomaron a una profundidad de 0 a 30 cm o de 0 a 10 según la profundidad de la zona de muestreo. Se tomaron tres submuestras por potrero de cada rancho. Una vez tomadas las submuestras del sitio se mezclaron cuidadosamente para obtener una muestra compuesta. Las muestras se colocaron en botes de plástico para su transportación al laboratorio.

4.2.2 Muestreo de pasto

Se tomaron muestras de las especies seleccionadas en cada punto de muestreo, cortándose a ras de suelo y se colocaron en bolsas de papel para su transportación al laboratorio.

4.3 Análisis Físicoquímicos

4.3.1 Análisis de Suelos

Una vez colectadas las muestras de suelo se pusieron a secar a temperatura ambiente hasta llegar a peso constante.

A las muestras de suelos se les realizaron los siguientes análisis:

4.3.1.1 Textura

Para la determinación de la textura de los suelos se uso el método de la probeta (Baver, 1956) descrito en el AOAC 947.05 (1990).

4.3.1.2 Potencial hidrógeno

La determinación de pH se hizo mediante el método descrito en la AOAC 14.022 (1990), mediante el uso de un potenciómetro previamente calibrado con soluciones amortiguadoras conocidas de pH 4 y pH 10.

4.3.1.3 Materia Orgánica

Para la determinación del contenido de materia orgánica se hizo uso de la técnica descrita en el AOAC 967.05 (1990), empleando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Peso perdido \#1} = \frac{\text{P2-P3}}{\text{Gramos de muestra}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Peso perdido \#2} = \frac{\text{P4-P1}}{\text{Gramos de muestra}} \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{M.O} = \text{Peso perdido \#1} + \text{Peso perdido \#2} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

P1= Peso del crisol solo

P2 = Peso del crisol + peso de la muestra

P3 = Peso del crisol + peso de la muestra después de salir de la estufa

P4 = Peso del crisol + peso de la muestra después de salir de la mufla

M.O = Materia orgánica

4.3.1.4 Nitrógeno total

El contenido de nitrógeno se determinó utilizando la técnica de Kjeldahl descrita en el AOAC 979.09 (1990), empleando la ecuación siguiente:

$$\% N = \frac{(\text{ml de HCl})(N \text{ del HCl})(0.014)}{\text{Gramos de muestra}} \times 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

%N = Porcentaje de Nitrógeno

ml de HCl = Mililitros gastados de ácido clorhídrico

N del HCl = Normalidad del ácido clorhídrico

4.3.1.5 Análisis de minerales

De acuerdo con las técnicas recomendadas por Chapman y Pratt (1981) se determinó el contenido de calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, azufre, cobre, manganeso y cobalto, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica marca Varian AA24OFS.

4.3.2 Análisis de Pastos

Las muestras de pasto se secaron a temperatura ambiente hasta llegar a peso constante, se molieron en un molino con malla de 1mm y se conservaron en lugar seco y fresco.

4.3.2.1 Determinación de contenido de humedad.

El contenido de humedad se determinó mediante la técnica descrita en el AOAC 925.10 (1990), empleando la ecuación 5.

$$\%Hp = \frac{P1 - P2}{\text{Gramos de muestra}} \times 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

%Hp = Porcentaje de Humedad parcial

P1= Peso de crisol + gramos de muestra

P2 = Peso de crisol + gramos de muestra después de salir de la estufa y ser enfriado.

4.3.2.2 Determinación del contenido de cenizas

Para la determinación del contenido de cenizas se usó la técnica descrita en el AOAC 936.07 (1990), empleando la ecuación 6.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P2-P1}{\text{Gramos de muestra}} \times 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

P1 = Peso de crisol + gramos de muestra

P2= Peso de crisol + gramos de muestra después de salir de la mufla y ser enfriado.

4.3.2.3 Proteína por micro-Kjeldahl

Para la determinación del contenido de proteína se utilizó la técnica descrita en el AOAC 979.09 (1990), empleando las ecuaciones siguientes:

$$\% N = \frac{(\text{ml de HCl})(N \text{ del HCl})(0.014)}{\text{Gramos de muestra}} \times 100 \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\% P.C. = \%N \times 6.25 \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

%N = Porcentaje de Nitrógeno

ml de HCl = Mililitros gastados de ácido clorhídrico

N del HCl = Normalidad del ácido clorhídrico

% P.C.= Porcentaje de proteína cruda

4.3.2.4 Determinación del contenido de grasa

El contenido de grasa se determinó mediante el uso de la técnica descrita en el AOAC 920.39 (1990), empleando la ecuación 9.

$$\% E.E. = \frac{P2 - P1}{\text{Gramos de muestra}} \times 100 \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

P1 = Peso de la taza previamente puesta a peso constante

P2 = Peso de la taza previamente puesta a peso constante después de la extracción

% E.E. = Porcentaje de grasa cruda o extracto etéreo.

4.3.2.5 Determinación del contenido de fibra

4.3.2.5.1 Fibra detergente neutra

Para la determinación del contenido de fibra detergente neutra se hizo uso de la técnica descrita en el AOAC 962.09 (1990), empleando las ecuaciones siguientes:

$$\% \text{ FDN (BS)} = \frac{(W3 - (W1 \times C1))}{W2} \times 100 \quad \text{Ecuación 10}$$

$$\% \text{ FDN (BS)} = \frac{(W4 - (W1 \times C2))}{W2 \times MS} \times 100 \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

W1= Peso de la bolsa sola

W2= Peso de la muestra

W3= Peso después de la extracción

W4= Peso de la materia orgánica (pérdida de peso en la incineración de la bolsa y el residuo de la fibra)

C1= Corrección de la bolsa blanco (peso final después de la estufa/peso de la bolsa sola)

C2= Corrección de la bolsa blanco de las cenizas (pérdida de peso por incineración/peso de la bolsa sola)

4.3.2.5.2 Fibra detergente acida

Para la determinación del contenido de fibra detergente acida se hizo uso de la técnica descrita en el AOAC 962.09 (1990), empleando las ecuaciones 12 y 13.

$$\% \text{ FDA (BS)} = \frac{(W3 - (W1 \times C1))}{W2} \times 100 \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\% \text{ FDA mo(BS)} = \frac{(W4 - (W1 \times C2))}{W2 \times MS} \times 100 \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

W1= Peso de la bolsa sola

W2= Peso de la muestra

W3= Peso después de la extracción

W4= Peso de la materia orgánica (pérdida de peso en la incineración de la bolsa y el residuo de la fibra)

C1= Corrección de la bolsa blanco (peso final después de la estufa/peso de la bolsa sola)

C2= Corrección de la bolsa blanco de las cenizas (pérdida de peso por incineración/peso de la bolsa sola)

4.3.2.6 Análisis de minerales

En lo que concierne a las muestras de pasto y de acuerdo con las técnicas recomendadas por Chapman y Pratt (1981) se determino el contenido de calcio,

fósforo, magnesio, sodio, potasio, azufre, cobre, manganeso y cobalto, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica marca Varian AA24OFS.

4.4 Análisis estadístico de resultados

El análisis de los datos se realizó mediante un análisis de varianza y un análisis de correlación canónica o multivariado.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Especies presentes en los sitios de estudio

Las especies de mayor importancia encontradas en los cinco sitios se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Especies presentes en los sitios de estudio.

Sitio	Especies
Adobes	<i>Bouteloua gracilis</i>
	<i>Bouteloua curtipendula</i>
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>
	<i>Melinis repens</i>
	<i>Setaria macrostachya</i>
	<i>Heteropogon contortus</i>
	<i>Leptochloa dubia</i>
	<i>Sporobolus airoides</i>
	<i>Distichlis spicata</i>
Arenal	<i>Bouteloua gracilis</i>
	<i>Bouteloua curtipendula</i>
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>
	<i>Sporobolus airoides</i>
	<i>Aristida divaricata</i>
Lobos	<i>Bouteloua gracilis</i>
	<i>Bouteloua curtipendula</i>
	<i>Aristida adscencionis</i>
	<i>Hilaria mutica</i>
	<i>Panicum obtusum</i>
Sagal	<i>Bouteloua gracilis</i>
	<i>Bouteloua curtipendula</i>
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>
	<i>Melinis repens</i>
	<i>Muhlenbergia repens</i>
	<i>Muhlenbergia porterii</i>
	<i>Elionurus barbiculmis</i>
T. Cañas	<i>Bouteloua gracilis</i>
	<i>Bouteloua curtipendula</i>
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>
	<i>Muhlenbergia repens</i>
	<i>Aristida adscencionis</i>

5.1.1 Especies de pasto seleccionadas para este estudio

5.1.1.1 *Bouteloua gracilis*

Pasto perenne nativo, sus inflorescencias son racimos compuestos de 1 a 3 (raramente 6) espigas persistentes, en forma de peines, compuestas de 40 a 100 espiguillas, el eje de cada espiga termina en una espiguilla y nunca presenta sobre su superficie pelos de base engrosada (a veces presenta pelillos diminutos); Su tamaño es de hasta 70 cm de alto; Florece y fructifica de junio a diciembre, pero principalmente en agosto y septiembre. Tolera sequía y frío. Requiere de 200-400 mm precipitación por año. Es común encontrarlo en pastizales naturales y matorrales xerófilos, pero principalmente en la vegetación secundaria. Su distribución altitudinal en el Valle de México va de los 2250 a los 3100 msnm, en Norteamérica de los 300 a los 3000 msnm. (Herrera y Rzedowski, 2001). Su distribución es desde el suroeste de Canadá a Oaxaca (Herrera y Rzedowski, 2001). Se ha registrado en Baja California Norte, Chihuahua, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Estado de México, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Zacatecas (Villaseñor y Espinoza, 1998).

En la Figura 2 se muestra un ejemplar de la especie *Bouteloua gracilis* según el Herbario de la Universidad estatal de Arizona (ASU, por sus siglas en inglés).



Figura 2. *Bouteloua gracilis*

5.1.1.2 *Bouteloua curtipendula*

Pasto perenne nativo, inflorescencia estrecha y alargada, hasta de 25cm de largo, de 20 a 40 ramas, de 0,8 a 2cm de largo, dispuestas en forma unilateral, desprendiéndose íntegras en la madurez; espiguillas 3 a 5 por rama. Su tamaño es de hasta de 1 m de alto. Es tolerante al frío y a la sequía. Es un pasto de estación cálida, y crece bien en las mesetas montañosas, laderas rocosas y planicies arenosas. Se encuentra en selvas bajas caducifolias alteradas, pastizales y matorrales xerófilos. Su distribución altitudinal va de los 800 a 2650 msnm.

Su distribución es desde Canadá hasta el sur hasta Argentina. Se ha registrado en los estados de Chihuahua, Durango, Guerrero, Jalisco, Michoacán y Oaxaca (Herrera y Rzedowski, 2001).

En la Figura 3 se muestra un ejemplar de la especie *Bouteloua curtispindula* según el Herbario de la Universidad Estatal de Arizona (ASU, por sus siglas en inglés).



Figura 3. *Bouteloua curtispindula*

5.1.1.3 *Bothriochloa barbinodis*

Este es un pasto perenne nativo. La inflorescencia es una matriz de plumas de las unidades de espiguilla, cada unidad se compone de un peludo trenzado de hasta 3,5 centímetros de largo. Su tamaño va desde 60 hasta 120 centímetros de

alto. Es muy resistente a la sequía. Se considera un indicador de daños en los pastizales, ya que suele ser una de las especies nativas en ser eliminadas primero si un área está en sobrepastoreo.

Su distribución incluye la mayor parte de América del Sur y Central, México y el territorio continental de Estados Unidos desde el sur de California hasta la Florida. (Herrera y Rzedowski, 2001).

En la Figura 4 se muestra un ejemplar de la especie *Bothriochloa barbinodis* según el Herbario de la Universidad estatal de Arizona (ASU, por sus siglas en inglés).



Figura 4. *Bothriochloa barbinodis*

5.1.1.1.4 *Melinis repens*

Pasto perenne nativo de África. Su inflorescencia es una panícula color púrpura cambiando a rosa, plateada con la edad, de 6 a 20 cm de longitud. Su tamaño es de

0.7 a 1 m de alto. Germina en primavera y florece y fructifica en verano. Este pasto africano se ha extendido a lo largo de las carreteras de México en los últimos 20 años. Actualmente se distribuye principalmente en pastizal, matorral xerófilo y en bosque de encino como componente de vegetación secundaria. Su distribución altitudinal va de los 0-2400 msnm. Es un pasto exótico ya común, se considera ya naturalizado, pero todavía en expansión. (Herrera y Rzedowski, 2001).

En México se ha registrado en Aguascalientes, Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán (Villaseñor y Espinoza, 1998).

En la Figura 5 se muestra un ejemplar de la especie *Melinis repens* según el Herbario de la Universidad estatal de Arizona (ASU, por sus siglas en inglés).



Figura 5. *Melinis repens*

5.2 Análisis químicos de suelos

5.2.1 Textura

Los resultados del tipo de textura de cada rancho se muestran en la tabla 3 donde se puede observar que dentro de un mismo rancho existen diferentes tipos de textura, esto es debido a que la textura del suelo es resultado de la acción e intensidad de los factores de formación del mismo. Puede existir diversa composición y textura de un mismo suelo cuando este ha sido alterado por el calor y la presión, este metamorfismo se produce como resultado de la presión entre dos bloques rocosos, tiene lugar en fracturas con movimiento y produce trituración mecánica pero también un calor por rozamiento.

Tabla 3. Tipo de textura de cada potrero en los cinco sitios.

Sitio	Potrero	Textura
Adobes	Pot. A	Franco Arenoso
	Pot. B	Arcillo Arenoso
	Pot. C	Franco Arcilloso Arenoso
Arenal	Arenal G	Arcilloso
	Arenal H	Arcilloso
Lobos	Pot. El 5	Franco - Limoso
	Pot. las casas	Franco Arenoso
	Pot. La Chole	Franco Arenoso
Sagal	Pot. Norte	Arcilloso
	Pot. Trampa	Arcilloso
	Pot. Sur	Franco-Limoso
T. Cañas	Pot. TC1	Franco Arcillo - Arenoso
	Pot. TC2	Franco Arenoso
	Pot. TC3	Franco Arenoso

Las condiciones que favorecen los diferentes tipos de textura son los grandes cambios de temperatura, la aridez y las pendientes fuertes. Los grandes cambios de temperatura se registran en las latitudes más altas y en las zonas desérticas. La temperatura, está asociada íntimamente al clima, pues a mayor temperatura existe mayor cantidad de arcilla en un suelo. Además, el espesor de los estratos o capas depende de la temperatura. Así en zonas frías el espesor de las capas de un suelo es pequeño. En climas cálidos, el lecho rocoso se encuentra a mayor profundidad que en climas fríos.

Otro factor que condiciona el tipo de textura de un sitio es el agua, que al atravesar las distintas capas va produciendo en su contacto con los elementos químicos y materia orgánica una serie de reacciones físico-químicas, que hacen que este vaya transformando lentamente, el agua también actúa en el relieve o topografía del terreno y esta se distribuirá según su relieve (Vera Terceros, 2007).

5.2.2 Potencial hidrógeno

El contenido de pH de cada rancho se muestra en la tabla 4. El análisis estadístico de la variable pH tuvo diferencias significativas ($P < 0.05$) en lo que respecta a cada sitio, observándose variabilidad de pH entre potreros de un mismo sitio, como en los Adobes y los Lobos. Esto debido a que la acidificación del suelo constituye un proceso natural causado por la formación de ácidos orgánicos e inorgánicos, como consecuencias de la actividad microbiana y debido a la pérdida de las bases del suelo por intercambio de iones y lixiviación con el exceso de agua de lluvia esto ligado con el tipo de textura, situación que se manifiesta en los análisis de correlación canónica de los datos obtenidos en este estudio.

Tabla 4. Contenido de pH de cada potrero en los cinco sitios.

Sitio	Potrero	pH
Adobes	Pot. A	8.58
	Pot. B	5.26
	Pot. C	5.49
Arenal	Arenal G	7.90
	Arenal H	7.89
Lobos	Pot. El 5	5.72
	Pot. las casas	7.46
	Pot. La Chole	7.48
Sagal	Pot. Norte	6.48
	Pot. Trampa	6.37
	Pot. Sur	6.19
T. Cañas	Pot. TC1	7.33
	Pot. TC2	7.36
	Pot. TC3	8.01

5.2.2.1 Análisis de pH en la correlación canónica del suelo.

El pH del suelo tiene una correlación con la textura, materia orgánica y potasio del suelo.

La descomposición de la materia orgánica en mayor o menor grado, produce una serie de productos coloidales como son la gibbsita y goethita que, en unión con los minerales arcillosos (aluminio, fierro, magnesio, hidrógeno y oxígeno.), originan los complejos minerales (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , y H_2O y cantidades variables de otros óxidos como: TiO_2 , CaO , MgO , MnO , K_2O , Na_2O y P_2O_5 , más los grupos hidroxilos), cuya aglutinación determina la textura y estructura de un suelo (Vera Terceros, 2007).

La materia orgánica actúa como estabilizador evitando variaciones rápidas y significativas del pH, pero también producen compuestos orgánicos que tienden a acidificar el suelo para la descomposición de minerales.

El pH ácido o alcalino afecta la disponibilidad de los minerales y los iones en el suelo, con la disminución del pH los iones hidrógeno desplazan a los cationes del potasio, los cuales pueden ser posteriormente lavados del suelo, disminuyendo la riqueza de este nutriente; pudiendo afectar o no a la planta, según la cantidad con que el suelo cuente de reserva para este ion. El pH del suelo es importante porque los pastos sólo pueden absorber al potasio disuelto, y la variación del pH modifica el grado de solubilidad de este mineral (Bornemisza, 1982).

5.2.3 Materia Orgánica

El contenido de materia orgánica de cada rancho se muestra en la tabla 5. El análisis estadístico del contenido de materia orgánica muestra diferencias significativas ($P < 0.05$) para cada sitio. En algunos sitios hay variaciones, dentro de la misma área de trabajo. Según Castellanos y col. (2000) el porcentaje de materia orgánica entre los rangos de 1.50 a 2.00 se considera alto. Por lo que tenemos un buen contenido de materia orgánica en los cinco sitios. El tipo de suelo influye marcadamente sobre el proceso de descomposición y posterior transformación de los restos orgánicos frescos en sustancias húmicas, ya sea determinando la especie vegetal o la actividad de los microorganismos. Existen otros factores que explican la gran variabilidad en el contenido de materia orgánica de los suelos, aún en un área localizada. Estos factores que determinan el contenido de materia orgánica en el suelo son el material madre, clima, topografía y el tiempo.

Tabla 5. Porcentaje de materia orgánica de cada potrero en los cinco sitios.

Sitio	Potrero	% M.O
Adobes	Pot. A	1.61 ^b
	Pot. B	1.83 ^{ab}
	Pot. C	1.85 ^{ab}
Arenal	Arenal G	1.66 ^b
	Arenal H	1.70 ^{ab}
Lobos	Pot. El 5	1.79 ^{ab}
	Pot. las casas	1.78 ^{ab}
	Pot. La Chole	1.72 ^{ab}
Sagal	Pot. Norte	1.97 ^a
	Pot. Trampa	1.97 ^a
	Pot. Sur	1.98 ^a
T. Cañas	Pot. TC1	1.84 ^{ab}
	Pot. TC2	1.77 ^{ab}
	Pot. TC3	1.73 ^{ab}

Las literales indican diferencias estadísticas

El material madre es efectivamente importante a través de su influencia sobre la textura. Es conocido el hecho de que para una zona climática dada y provista de vegetación y topografía constante, el contenido de materia orgánica depende especialmente de las propiedades texturales.

El clima es el factor simple más importante, el cual determina el ordenamiento de las plantas en una localidad dada, la cantidad de material vegetal producido y la intensidad de la actividad microbiana en el suelo.

La topografía o relieve afecta el contenido de materia orgánica a través de su influencia sobre el clima, escurrimiento, evaporación y transpiración. Variaciones locales en topografía tales como lomas, laderas, depresiones, modifican el microclima de las plantas, a través de la variación de las características fisicoquímicas del suelo.

Dentro de determinadas secuencias de tiempo y dependiendo el tipo de textura, se dan niveles de equilibrio de materia orgánica en el suelo, esto se puede explicar debido a que:

- a) Se producen coloides orgánicos los cuales resisten el ataque microbiano.
- b) El humus es protegido de la descomposición a través de su interacción con la materia mineral.
- c) Una limitación de uno o más nutrientes esenciales pone un límite sobre la cantidad de humus que puede ser sintetizado (Fassbender y Bornemisza, 1987).

5.2.3.1 Análisis de materia orgánica en la correlación canónica del suelo.

La materia orgánica tiene relación indirecta con el pH, y directamente sobre nitrógeno, calcio, potasio, fósforo, cobre y cobalto en el suelo.

Las propiedades de la materia orgánica influyen directamente sobre el crecimiento vegetal, debido a su capacidad para permitir el movimiento y disponibilidad de los nutrientes o los procesos de intercambio catiónico en función del pH, dado por la misma composición de iones en la materia orgánica.

La materia orgánica pone los nutrientes a disposición de las plantas, especialmente nitrógeno (NO₃, NH₄), fósforo (P₀₄) calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na) y otros. Mantiene la vida de los organismos del suelo, esenciales para los procesos de renovación del recurso.

Los efectos químicos de la materia orgánica sobre el suelo se ponen de manifiesto en la facilidad o dificultad de disponer de los nutrientes minerales. Entre 20 y 70% de la capacidad de intercambio en muchos suelos es causada por sustancias húmicas coloidales. Los coloides existentes en el suelo presentan carga negativa, hecho que les permite absorber cationes H⁺ y cationes metálicos (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺) e intercambiarlos en todo momento de forma reversible.

Un suelo rico en materia orgánica contendrá más nitrógeno que otros con un bajo contenido en humus. Más del 95% del nitrógeno del suelo está en forma de materia orgánica, la forma menos susceptible de sufrir una descomposición rápida. El nitrógeno inorgánico está fundamentalmente como NH_4^+ , del cual sólo una pequeña parte está en la solución del suelo y en las sedes de intercambio, pues nitrifica rápidamente, el nitrógeno restante está en forma difícilmente cambiante formando parte de los silicatos.

La cantidad de nitrógeno disponible para las plantas, depende del equilibrio entre mineralización (conversión del nitrógeno orgánico en nitrógeno mineral, ya sea por aminización, amonización o nitrificación) e inmovilización (proceso contrario). Esta mineralización depende, entre otros factores, de la temperatura del suelo, siendo muy activa con temperaturas altas, según Castellanos y col. (2000), el porcentaje de nitrificación es del 11% al año.

5.2.4 Nitrógeno Total

El contenido de nitrógeno de cada rancho se muestra en la tabla 6. En el análisis estadístico del contenido de nitrógeno hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) en lo que respecta a cada sitio. Las diferencias del porcentaje de nitrógeno en cada sitio se deben a varios factores; cantidad de materia orgánica, al clima, a la topografía y la textura. En lo que respecta al clima, de este depende la temperatura del suelo y por lo tanto la intensidad de la actividad de los microorganismos para fijar el nitrógeno en el suelo, así como las precipitaciones pluviales que el sitio recibe. Debido a la topografía van a existir mayores o menores concentraciones de nitrógeno debido a la pendiente del terreno y al escurrimiento. Las velocidades de los procesos biológicos que se hayan implicados dependen de el contenido en agua y la aireación, las cuales dependen del tipo de textura del suelo.

Tabla 6. Porcentaje de nitrógeno de cada potrero en los cinco sitios

Sitio	Potrero	%N
Adobes	Pot. A	0.2100 ^a
	Pot. B	0.1079 ^{ab}
	Pot. C	0.0875 ^b
Arenal	Arenal G	0.2800 ^a
	Arenal H	0.1750 ^a
Lobos	Pot. El 5	0.2129 ^a
	Pot. las casas	0.2217 ^a
	Pot. La Chole	0.5308 ^a
Sagal	Pot. Norte	0.1138 ^{ab}
	Pot. Trampa	0.0175 ^b
	Pot. Sur	0.1488 ^{ab}
T. Cañas	Pot. TC1	0.1925 ^a
	Pot. TC2	0.1925 ^a
	Pot. TC3	0.1925 ^a

Las literales indican diferencias estadísticas

5.2.4.1 Análisis de nitrógeno en suelo en la correlación canónica del suelo.

El nitrógeno del suelo tiene una relación con la materia orgánica, calcio, potasio y cobalto del suelo. A mayor contenido de nitrógeno mayor contenido de calcio y potasio. A mayor contenido de nitrógeno menor contenido de materia orgánica y cobalto.

En la interacción del nitrógeno, calcio y potasio existe un sinergismo que favorece los procesos de mineralización del nitrógeno orgánico del suelo, de fijación de nitrógeno y de denitrificación (Rusell, 1973).

Cuando la materia orgánica es descompuesta por los microorganismos los minerales pasan a formar parte del suelo y la materia orgánica disminuye, es por esta razón que cuando existe un mayor contenido de nitrógeno, es que la materia orgánica ya

se encuentra descompuesta y por ende existe una menor cantidad (Castellanos y col., 2000).

Existe una competencia en el sitio eléctrico en lo que respecta a la relación del nitrógeno con el cobalto, es por eso que entre más nitrógeno se encuentre en el suelo menos cantidad de cobalto estará disponible (Rusell, 1973).

Las cantidades de nitrógeno en los suelos son bastante pequeñas, variando desde trazas hasta 0.5% en los suelos superficiales, disminuyendo con la profundidad (Buckman y Brady, 1977). El porcentaje de nitrógeno en cada uno de los sitios de estudio se encuentran dentro de rangos normales, aunque exista un poco de variabilidad en un mismo sitio, no hay que olvidar que la cantidad de nitrógeno depende también del tipo de suelo, de la temperatura y pluviosidad, como se menciono anteriormente.

5.2.5 Análisis de Minerales

En el análisis estadístico de varianza del contenido de macro nutrientes y micronutrientes hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) en lo que respecta a cada sitio. Las diferencias entre cada rancho se deben a que existen características de contenido de minerales propias de cada sitio, relacionadas con la textura, el pH y materia orgánica del suelo. En lo que respecta a cada sitio, el manejo condiciona la variabilidad entre potreros, es por eso que se encuentran diferencias en un mismo rancho, ya que existen unas zonas más agotadas que otras o simplemente el suelo contiene poca cantidad de un determinado elemento y por eso existe una carencia.

En lo que respecta a la textura el suelo puede ser sometido a un lavado incluso en el mismo sitio por lo que los nutrientes se irán agotando en determinadas áreas.

El pH influye decisivamente en la solubilidad de los nutrientes, esto significa que el elemento está en el suelo en cantidad suficiente, pero no está disuelto en agua, es decir se encuentra presente, pero no está disponible porque se encuentra en gran medida insolubilizado como mineral. También, puede haber de un determinado

elemento en el suelo, pero existen otros elementos que lo bloquean por un efecto químico, esto es a lo que se le llama antagonismos.

5.2.5.1 Macronutrientes del suelo y su análisis en la correlación canónica.

El contenido de calcio, magnesio y azufre de cada rancho se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Cantidad de calcio, magnesio y azufre de cada potrero en los cinco sitios.

Sitio	Potrero	% Calcio	% Magnesio	Azufre (ppm)
Adobes	Pot. A	4.68 ^{ab}	0.26 ^b	1578.66 ^b
	Pot. B	12.60 ^a	0.55 ^a	1194.66 ^b
	Pot. C	0.24 ^{ab}	0.16 ^c	1258.66 ^b
Arenal	Arenal G	11.30 ^a	0.32 ^b	972.80 ^{bc}
	Arenal H	5.40 ^{ab}	0.30 ^b	908.80 ^{bc}
Lobos	Pot. El 5	6.14 ^a	0.09 ^c	1478.40 ^b
	Pot. las casas	4.64 ^{ab}	0.08 ^c	2304.00 ^a
	Pot. La Chole	6.63 ^a	0.08 ^c	1549.55 ^b
Sagal	Pot. Norte	0.1771 ^b	0.27 ^b	832.00 ^{bc}
	Pot. Trampa	0.1061 ^b	0.31 ^b	796.66 ^{bc}
	Pot. Sur	0.168 ^b	0.84 ^a	880.00 ^{bc}
T. Cañas	Pot. TC1	0.57 ^{ab}	0.63 ^a	4202.66 ^a
	Pot. TC2	2.08 ^{ab}	0.14 ^c	1958.00 ^a
	Pot. TC3	3.40 ^{ab}	0.14 ^c	1774.55 ^a

Las literales indican diferencias estadísticas

5.2.5.1.1 Calcio

El contenido de calcio del suelo tiene relación con materia orgánica, nitrógeno, potasio, cobre, manganeso y cobalto del suelo.

Al ser estos cationes metálicos de carga positiva, pudiendo hacer intercambios reversibles en el sitio de adsorción, absorción, transporte y función en la raíz de las plantas o dentro de sus tejidos, estas interacciones son comunes entre nutrientes de similar tamaño, carga, geometría de coordinación y configuración electrónica, este tipo de interacción es común entre Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , y Na^{+} .

Debido a que el calcio es un catión que comparte similitudes con otros cationes metálicos, encontramos que el mayor porcentaje de calcio en el suelo limitara el contenido de los otros elementos tanto en el suelo como dentro de la planta debido a la competencia del sitio eléctrico (Heppler y Wayne, 1985).

El calcio libre no se encuentra en forma natural, sino formando compuestos que constituyen el 3,63% de las rocas ígneas y 3,22% de la corteza terrestre. Se encuentra como calcita CaCO_3 en la piedra caliza. Los minerales primarios de calcio más importantes son la anortita $\text{Ca Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8$ que tiene entre 7-14% de Ca y los piroxenos del tipo $\text{Ca Mg (Si O}_3)_2$ con 9 a 16% de Ca. La calcita puede ser la fuente dominante en algunos suelos y la dolomita con 22% de Ca, en otros. La apatita, un compuesto isomorfo de $\text{Ca}_5 (\text{PO}_4)_3 \text{F}$ y $\text{Ca}_5 (\text{PO}_4)_3 \text{Cl}$ está presente en pequeñas cantidades en rocas ígneas y en muchos suelos, tiene entre 38 - 39% de Ca. Otros fosfatos minerales son el hidrofosfato de calcio, CaHPO_4 , el ortofosfato de calcio, $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3$, que existen principalmente en suelos calcáreos y en suelos con altos pH, ricos en Ca intercambiable (Buckman y Brady, 1977).

En suelos dentro de las regiones áridas y semiáridas, la calcita y dolomita, son las principales fuentes minerales de calcio. Si nos basamos en esto en todos los sitios de estudio existe una deficiencia de este mineral, ya que su porcentaje no está siquiera cercano a un 22%, esto se debe a que a lo largo de los años ha existido un mal manejo que ha ido desgastando estos sitios hasta llegar a estos niveles críticos.

5.2.5.1.2 Magnesio

El contenido de magnesio en el suelo tiene relación con la textura, potasio, manganeso.

El contenido total de magnesio en un suelo no es un índice de su disponibilidad. La disponibilidad de magnesio en un suelo depende no solamente de la cantidad total presente, sino de la cantidad en relación a la capacidad de intercambio de los coloides del suelo y de la naturaleza de los iones complementarios.

El magnesio no es fijado por las arcillas, por esta razón puede lixiviarse fácilmente, sobre todo en texturas medias y gruesas (Vera Terceros, 2007).

A mayor contenido de magnesio menor contenido de potasio, esto debido a la competencia del sitio eléctrico, debido a la mayor cantidad de magnesio que de potasio. Y a mayor contenido de magnesio mayor contenido de manganeso.

La principal fuente disponible para las plantas se encuentra en la forma intercambiable, como el Mg intercambiable es removido por las plantas y es factible de lavarse, este es repuesto a partir del Mg mineral por la meteorización de los minerales (como dolomita, hornblenda y serpentina). Cuando el magnesio llega a su nivel crítico aumenta en la solución del suelo la concentración de metales como Mg, Mn, Zn llegando a valores tóxicos que también impiden el crecimiento del vegetal (Brady y Weil, 2002).

El contenido promedio de magnesio en la litosfera es de 2,68%. El magnesio se encuentra presente en el suelo bajo las formas no-intercambiable, y soluble en agua. El magnesio en la forma no-intercambiable se encuentra principalmente en los minerales primarios y secundarios biotita, augita, hornblenda, olivina, serpentina, clorita, montmorillonita, illita, vermiculita, y en los carbonatos minerales dolomita ($Mg Ca (CO_3)_2$), magnesita ($Mg CO_3$) y sal de Epsom ($Mg SO_4 7H_2O$). En las regiones áridas y semiáridas predominan los minerales dolomita, magnesita y sal de Epsom. Una pequeña parte de Mg se asocia con la materia orgánica del suelo. El contenido de magnesio total en los suelos no calcáreos, varía entre 3 a 12% (Buckman y Brady, 1977).

El contenido de magnesio en los cinco sitios se encuentra por debajo del promedio normal, lo que sigue indicando un desgaste de los suelos debido a los malos manejos.

5.2.5.1.3 Azufre

El contenido de azufre en el suelo tiene relación con fósforo, cobre y cobalto en el suelo.

A mayor contenido de azufre menor cantidad de fósforo, cobre y cobalto, esto es debido a la competencia en el sitio eléctrico en el suelo, esto es normal debido a la mayor cantidad de azufre que de fósforo, cobre y cobalto.

Entre azufre y fósforo, hierro, manganeso, cobre, zinc y boro. El azufre dependiendo de la forma puede acidificar y favorecer el paso a solución de ciertos elementos insolubles en medio alcalino.

El azufre en forma inorgánica es generalmente mucho menos abundante que el azufre en forma orgánica en la mayor parte de los suelos agrícolas, a excepción de los suelos secos, en donde puede ocurrir lo contrario (Wainwright, 1984).

El azufre en la forma de sulfuros, sulfatos y azufre elemental constituye aproximadamente 0,06% de la corteza terrestre. El azufre nativo o libre se encuentra principalmente en depósitos volcánicos sedimentarios. El azufre está presente en los suelos bajo dos formas inorgánicas y orgánicas. En suelos húmedos se presenta principalmente como pirita (Fe S_2); blenda (Zn S), las piritas de cobre o calcopirita ($\text{S}_2 \text{ Fe Cu}$); cobaltina (Co As S); varias cantidades de yeso ($\text{So}_4 \text{ Ca } 2\text{H}_2\text{O}$) y sal de Epsom ($\text{Mg SO}_4 \text{ 7H}_2\text{O}$). En la solución del suelo el azufre está presente como ión sulfato. Los suelos de las regiones húmedas contienen 50-500 ppm de sulfato soluble en agua o ácidos débiles. El azufre total de la mayoría de los suelos varía de 0,01 a 0,15%. En suelos de regiones áridas o semiáridas gran parte del azufre total está presente como sulfato soluble de calcio, magnesio, potasio y sodio (Buckman y Brady, 1977).

Los contenidos de azufre en la solución del suelo en las zonas templadas o semiáridas pueden variar de 10 a 500 ppm, por lo que en estos suelos normalmente no se presenta deficiencia de este elemento, en este caso el contenido de azufre de nuestros sitios de estudio está por encima de las 500 ppm, esto debido a la zona en donde se encuentran ya que existen antecedentes en los que se le puede considerar una zona volcánica.

El contenido de sodio, potasio y fósforo de cada rancho se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Porcentaje de sodio, potasio y partes por millón de fósforo de cada potrero en los cinco sitios.

Sitio	Potrero	Sodio %	Potasio %	Fósforo (ppm)
Adobes	Pot. A	0.0162	0.33 ^a	14.60 ^{ab}
	Pot. B	0.0167	0.27 ^a	13.62 ^{ab}
	Pot. C	0.0132	0.28 ^a	14.20 ^{ab}
Arenal	Arenal G	0.0251	0.38 ^a	12.04 ^{ab}
	Arenal H	0.0311	0.33 ^a	11.23 ^{ab}
Lobos	Pot. El 5	0.0133	0.24 ^a	15.77 ^{ab}
	Pot. las casas	0.0135	0.35 ^a	15.68 ^{ab}
	Pot. La Chole	0.0154	0.42 ^a	12.26 ^{ab}
Sagal	Pot. Norte	0.1310	0.19 ^b	14.93 ^{ab}
	Pot. Trampa	0.0164	0.14 ^b	22.53 ^a
	Pot. Sur	0.0128	0.11 ^b	29.25 ^a
T. Cañas	Pot. TC1	0.0157	0.27 ^a	7.34 ^b
	Pot. TC2	0.0152	0.31 ^a	7.44 ^b
	Pot. TC3	0.0164	0.37 ^a	7.97 ^b

Las literales indican diferencias estadísticas

5.2.5.1.4 Sodio

El contenido de sodio en el suelo en la correlación canónica no tiene ninguna relación. La corteza terrestre contiene aproximadamente un 2,6% de sodio, los niveles normales de sodio en el suelo son de 0,2-0,8% (Sillanpaa, 1972).

Todos los sitios de estudio están por debajo de los niveles normales, por lo que se puede continuar con la afirmación de que existe un desgaste debido a los malos manejos que han tenido estos sitios a lo largo de los años.

5.2.5.1.5 Potasio

El contenido de potasio en el suelo tiene relación con el pH, materia orgánica, nitrógeno, calcio, fosforo, cobre, manganeso y cobalto en el suelo.

A mayor contenido de potasio menor contenido de fosforo, cobre, manganeso y cobalto, esto debido a la competencia en el sitio eléctrico, ya que el potasio se encuentra en mayor cantidad que los otros elementos.

A mayor contenido de potasio mayor contenido de calcio esto debido a que existe un sinergismo, ya que la combinación de nutrientes es más grande que sus efectos individuales, esta relación potasio-calcio, ayuda a prevenir enfermedades de tétanos en los animales (Heppler y Wayne, 1985).

Comprende 2,6% de las rocas ígneas de la corteza terrestre. El potasio se encuentra en el suelo en minerales primarios y meteorizados, así como en la forma intercambiable, no-intercambiable y soluble en agua. Los minerales primarios que contienen potasio son los feldespatos potásicos, ortoclasa y microclina ($K Al Si_3 O_8$), estos feldespatos contienen K (7-12%), Na (3-7%) y Ca (0-2%), respectivamente. Un mineral más rico en potasio es el feldespátoide leucita ($Al Si_2 O_6$) K, que contiene teóricamente 18% de K. El potasio está restringido esencialmente a rocas volcánicas y ha sido utilizado como fertilizante. Las micas como la moscovita ($K(Al Si_3) Al_2 O_{10} (O, H, F)_2$) y biotita ($K (Al Si_3) (Mg Fe)_3 O_{10} (OH)_2$), tienen un contenido de potasio

que oscila entre 7-9% y de 5-7% respectivamente. Un mineral arcilloso importante que contiene potasio es la illita, con un contenido de K en el rango de 4-5%.

El potasio no intercambiable, comprende entre el 90 - 98% del potasio total del suelo y se encuentra bajo la forma de feldespatos y micas, esta fracción constituye las reservas de potasio del suelo. El potasio rápidamente asimilable, forma del 1 - 2% del potasio total y el potasio lentamente asimilable o no cambiante constituye el 1 a 10% del total del suelo; este último es el potasio adsorbido y fijado por ciertos coloides del suelo (Buckman y Brady, 1977).

El contenido de potasio de los cinco sitios de estudio tiene un porcentaje muy por debajo de los descritos anteriormente, lo que nos sigue indicando que a través de los años ha existido mal manejo y sobreutilización de estas tierras.

5.2.5.1.6 Fosforo

El contenido de fosforo en el suelo tiene relación con el azufre, potasio, cobre y cobalto del mismo suelo.

A mayor contenido de fosforo menor contenido de azufre y potasio, esto debido a los antagonismos o competencia en el sitio eléctrico, ya que el fosforo tiene mayor contenido en el suelo que el azufre y potasio. A mayor contenido de fosforo mayor contenido de cobre y cobalto., esto debido al sinergismo que existe del fosforo con estos dos elementos, esto se ve reflejado en que a mayor contenido de fosforo mayor contenido de los mismos en la planta (Heppler y Wayne, 1985).

El contenido medio total de fósforo de la litosfera es de 0,28% expresado como P_2O_5 , pero muchos suelos superficiales contienen de 0,022 a 0,083% de fósforo. El fósforo no se encuentra libre en la naturaleza excepto en algunos meteoritos, se encuentra en compuestos que están distribuidos en muchas rocas, minerales, plantas y animales. El fósforo en el suelo se puede dividir en dos clases principales, orgánico e inorgánico.

El orgánico se presenta en la forma de fosfolípidos, ácidos nucleicos y fosfatos de inositol. Como fósforo de fosfolípidos nunca excede 3 ppm., pero se han encontrado valores tan altos como 34 ppm. El fósforo en la forma de ácidos nucleicos puede alcanzar valores entre 17 y 58%. El fósforo orgánico, expresado como porcentaje del fósforo total, puede variar entre 2,6 a 75%. El fósforo orgánico debe ser mineralizado antes de ser absorbido por las plantas. El fósforo inorgánico se encuentra bajo varias formas, las cuales dependen del pH. Una pequeña fracción, normalmente menor de 1 ppm, está presente en la solución del suelo y se encuentra en equilibrio con el fósforo adsorbido por los coloides. Las plantas toman el fósforo casi exclusivamente como iones fosfato inorgánico de la forma monovalente (H_2PO_4), ya que éste es absorbido más fácilmente que el HPO_4^{2-} (Buckman y Brady, 1977).

El contenido de fosforo de los cinco sitios se encuentra por debajo de los rangos normales ya que, además de los malos manejos, se tienen antecedentes de la deficiencia de este mineral en las zonas de estudio.

5.2.5.2 Micronutrientes y su análisis en la correlación canónica suelo-pasto.

El contenido de cobre, manganeso y cobalto de cada rancho se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Partes por millón (ppm) de cobre, manganeso y cobalto de cada potrero en los cinco sitios.

Sitio	Potrero	Cobre (ppm)	Manganeso (ppm)	Cobalto (ppm)
Adobes	Pot. A	15.47 ^{ab}	739.58 ^{ab}	14.47 ^{ab}
	Pot. B	10.75 ^b	486.94 ^{ab}	15.11 ^{ab}
	Pot. C	13.30 ^{ab}	1525.00 ^a	17.90 ^{ab}
Arenal	Arenal G	4.66 ^{bc}	403.33 ^{ab}	8.22 ^{cd}
	Arenal H	16.10 ^{ab}	477.91 ^{ab}	10.53 ^{bc}
Lobos	Pot. El 5	12.43 ^{ab}	182.63 ^{bc}	10.78 ^{bc}
	Pot. las casas	13.73 ^{ab}	182.77 ^{bc}	11.80 ^{bc}
	Pot. La Chole	12.18 ^{ab}	13.88 ^c	12.58 ^{bc}
Sagal	Pot. Norte	21.43 ^a	1506.50 ^a	35.43 ^a
	Pot. Trampa	21.33 ^a	1460.93 ^a	34.43 ^a
	Pot. Sur	22.28 ^a	1636.97 ^a	37.93 ^a
T. Cañas	Pot. TC1	6.35 ^b	358.50 ^{ab}	6.35 ^d
	Pot. TC2	6.36 ^b	187.50 ^{bc}	7.66 ^d
	Pot. TC3	5.60 ^{bc}	157.63 ^{bc}	6.45 ^d

Las literales indican diferencias estadísticas

5.2.5.2.1 Cobre

El contenido de cobre en el suelo tiene relación con la materia orgánica, calcio, azufre, potasio, fósforo y cobalto. En el análisis de pastos tiene relación con el contenido de magnesio.

A mayor contenido de cobre menor contenido de calcio, azufre y potasio, esto debido a que estos elementos minerales poseen configuraciones electrónicas similares, generalmente compiten por las proteínas transportadoras interfiriendo entre sí (Heppler y Wayne, 1985).

A mayor contenido de cobre mayor contenido de materia orgánica, fósforo y cobalto, la materia orgánica es la que provee de estos elementos al suelo y entre ellos existe un sinergismo, por lo que unos dependen de otros para poder ser transportados o adsorbidos por la planta.

El cobre intercambiable está firmemente adsorbido especialmente por la materia orgánica del suelo. El ión Cu^{2+} en una gran proporción es fijado por el humus, en una forma más estable que por la forma ordinaria intercambiable adsorbida. Se ha demostrado experimentalmente que el Cu es adsorbido más firmemente por los suelos orgánicos, que por los suelos minerales. El Cu no intercambiable se considera unido parcialmente a la materia orgánica, como complejos estables o como constituyentes de residuos de plantas y parcialmente en minerales primarios y secundarios. El Cu orgánico se hace disponible solamente después de la mineralización. La distribución de Cu entre los componentes inorgánicos y orgánicos del suelo varía notablemente con el contenido de humus (Castellanos y col., 2000).

Existen sinergismos que se notan dentro de la planta como el de a mayor contenido de cobre en el suelo mayor contenido de magnesio en la planta (Brady y Weil, 2002), condición que se da en todos los ranchos en todas las especies.

El contenido promedio en la litosfera es de 70 ppm.; mientras que el contenido total de cobre en el suelo varía entre 2 a 100 ppm.

En los suelos el cobre se encuentra presente principalmente en la forma divalente. La concentración de Cu en la solución del suelo ordinario puede llegar a valores tan bajos como 0,01 ppm; mientras que la cantidad soluble en agua no excede de 1 ppm, esto es aproximadamente 1% del Cu total. Se considera que la fracción principal del Cu disuelto existe como complejo soluble de ácidos orgánicos, tales como cítrico y oxálico.

El compuesto más importante de cobre en las rocas primarias es la calcopirita (Cu Fe S_2) y minerales de las rocas ígneas. En suelos inundados, el cobre se presenta también como CuS o posiblemente como Cu_2S , que al exponerse al aire se oxidan a

sulfato. En los suelos se han hallado así mismo, carbonatos y fosfatos de cobre (Buckman y Brady, 1977).

El contenido de cobre de los cinco sitios se encuentra dentro del rango normal (2-100 ppm), debido a que el contenido de materia orgánica no ha variado y sigue manteniendo las condiciones normales.

5.2.5.2.2 Manganeso

El contenido de manganeso en el suelo tiene relación con calcio, magnesio y potasio. En el análisis de los pastos tiene relación con el contenido de fósforo y cobalto.

A mayor contenido de manganeso mayor contenido de magnesio, debido al sinergismo existente entre ambos.

A mayor contenido de manganeso menor contenido de calcio y potasio, debido a la competencia en el sitio eléctrico.

A mayor contenido de manganeso en el suelo mayor contenido de fósforo y cobalto en la planta. Entre el manganeso, el fósforo y el cobalto, existe un sinergismo desde el suelo que en forma de distintos óxidos y óxidos hidratados continúa aun dentro de la planta (Heppler y Wayne, 1985).

El contenido de las diferentes fracciones de Mn en los suelos, es muy variable. Se encuentra en forma de distintos óxidos y óxidos hidratados, como parte de silicatos y carbonatos.

La parte importante del Mn en suelos se encuentra presente como óxidos insolubles, el más común parece ser la pirolusita como Mn^{4+} , tanto en la forma hidratada como activa, $MnO_2 \cdot 2H_2O$ y en la forma cristalizada e inerte MnO_2 . Existen evidencias de la presencia de la forma trivalente de óxido de Mn, braunita, $Mn_2O_3 \cdot nH_2O$. Se considera presente en los suelos la hausmanita, un óxido mangano mangánico Mn_3O_4 .

O₄. Suelos ligeramente meteorizados pueden contener también cantidades considerables de Mn²⁺ junto con Fe²⁺ como constituyentes de minerales silicados, entre los que el silicato oscuro es el que contiene más manganeso. La biotita contiene hasta 1% de MnO, augita 0,4%, hornblenda 0,3% y la moscovita 0,1%. Así mismo la piedra caliza y la dolomita algunas veces tienen alto contenido de Mn.

En la solución del suelo y en forma intercambiable se presenta principalmente como Mn²⁺, los iones Mn³⁺ y Mn⁴⁺ forman óxidos prácticamente insolubles. La abundancia del manganeso total en suelos minerales varía entre 300 a 7000 ppm, aunque algunas veces se encuentran contenidos menores o mucho mayores. El contenido de manganeso total en el suelo va de 20 a 3000 ppm, aunque en promedio contiene 600 ppm (Buckman y Brady, 1977).

Todos los sitios de estudio están dentro de estos rangos, con excepción del potrero de La Chole del rancho los Lobos que se encuentra por debajo del rango. En general los ranchos el Arenal, los Lobos y T. cañas se encuentran por debajo del promedio, lo que nos indica un desgaste de este mineral, continuando con la afirmación de que han existido malos manejos. El rancho los Adobes es el único que se encuentra cerca del promedio normal, mientras que el Sagal está muy por encima del promedio pero sin exceder los rangos normales, como se menciona anteriormente esto se puede deber a que en este sitio los suelos pueden estar cubiertos por rocas portadoras de minerales o a la presencia de zonas industriales cercanas.

5.2.5.2.3 Cobalto

El contenido de cobalto en el suelo tiene relación con la materia orgánica, nitrógeno, calcio, azufre, potasio, fósforo y cobre. En el análisis de pastos tiene relación con el contenido de grasa y magnesio.

A mayor contenido de cobalto menor contenido de nitrógeno, calcio, azufre y potasio en el suelo. El cobalto es requerido para la fijación de nitrógeno por las bacterias

presentes en los nódulos de las raíces; así como por las bacterias del suelo que fijan nitrógeno. La relación con el calcio, azufre y potasio es que estos son al igual que el cobalto poseen carga positiva lo que se manifiesta en una competencia en el sitio (Heppler y Wayne, 1985).

A mayor contenido de cobalto mayor contenido de materia orgánica, fósforo y cobre. El cobalto es requerido por las bacterias del suelo como fuente de energía, al haber más cobalto más actividad microbiológica habrá, por lo tanto, más nutrientes minerales provenientes de la materia orgánica estarán disponibles. Entre el fósforo, cobre y cobalto existe un sinergismo, lo que explica la filiación entre estos minerales.

En la planta a mayor contenido de cobalto en el suelo mayor contenido de magnesio, y menor contenido de grasa. En lo que respecta al magnesio y cobalto, existe un sinergismo que empieza desde el suelo y que sigue hasta que estos son absorbidos por las raíces de la planta. El cobalto es un elemento vital durante el ciclo celular. Los ácidos grasos esenciales naturales tienen una carga eléctrica que cambia la fluidez de las membranas celulares. El Cobalto no puede ser destruido una vez que este ha entrado en el medioambiente. Puede reaccionar con otras partículas o ser absorbido por las partículas del suelo o el agua. El Cobalto se mueve sólo bajo condiciones ácidas, pero al final la mayoría del Cobalto terminará en el suelo y sedimentos. Cuando las plantas crecen sobre suelos ricos en cobalto estas acumularán muy pequeñas partículas de este mineral, especialmente en las partes de la planta que nosotros comemos, como son los frutos y las semillas. Es decir no así en los tallos y hojas de las plantas, que es donde encontraremos, el mayor contenido de grasas naturales (Goldfrank, 2006).

El contenido normal de cobalto en los suelos es de 0,13 a 49 ppm, teniendo como media 8 ppm (Sillanpaa, 1972). En lo que respecta a nuestro estudio el contenido de cobalto de los cinco sitios se encuentra dentro de estos rangos, siendo el Sagal el que más contenido de este mineral presenta, sin exceder los límites. Este mayor contenido se puede deber a como ya se ha mencionado anteriormente a la presencia de rocas portadoras de minerales o a la cercanía de zonas industriales.

5.3 Análisis de químicos pastos

5.3.1 Humedad

El contenido de humedad de las especies de pasto en cada sitio de estudio se describe en la tabla 10. En el análisis estadístico el contenido de humedad no tuvo diferencias significativas ($P > 0.05$) ya que la colecta se realizó en temporada de secas. En la época seca, en todos los sitios el agua retenida por el suelo se encontraba en el punto de marchitez permanente. El contenido de humedad se relaciona directamente con factores constituyentes del clima como la temperatura y las precipitaciones que a su vez estos son influenciados por la altitud y latitud. En ambas tampoco hay una diferencia significativa entre los sitios de muestreo

Tabla 10. Porcentaje de humedad de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.

Sitio	<i>B. gracilis</i>	<i>B. curtipendula</i>	<i>B. barbinodis</i>	<i>M. repens</i>
Adobes	5.08	5.10	4.74	4.77
Arenal	5.54	5.44	5.20	-
Lobos	5.17	5.53	-	-
Sagal	5.22	5.36	5.17	5.04
T. Cañas	5.26	5.65	5.04	-

5.3.1.1 Análisis de humedad en la correlación canónica suelo-pasto.

El contenido de humedad de las especies no tiene ninguna relación con los análisis fisicoquímicos y de minerales realizados en el suelo y tampoco con el resto de los análisis de los pastos. Sin embargo, la cantidad de agua que permanece en el suelo después de que se ha detenido el flujo gravitacional, es la que condiciona el contenido de humedad en los pastos.

5.3.2 Cenizas

El contenido de cenizas de las especies de pasto en cada sitio de estudio se describe en la tabla 11. En el análisis de ceniza hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) entre especies, sitio e interacción especie-sitio. El contenido de cenizas es el conjunto de minerales en pasto que no arden ni se evaporan después de ser calcinada la muestra. El contenido de cenizas es diferente en cada especie y ello depende de la relación con el contenido de minerales propio de cada suelo en los diferentes sitios de muestreo y su disponibilidad para la planta.

Tabla 11. Porcentaje de ceniza de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.

Sitio	<i>B. gracilis</i>	<i>B. curtipendula</i>	<i>B. barbinodis</i>	<i>M. repens</i>
Adobes	6.66 ^c	10.76 ^a	6.70 ^b	7.59 ^a
Arenal	10.39 ^a	8.05 ^b	7.38 ^a	-
Lobos	7.81 ^{bc}	7.73 ^b	-	-
Sagal	6.44 ^c	8.51 ^a	6.79 ^b	7.61 ^a
T. Cañas	8.93 ^{ab}	9.07 ^a	7.89 ^a	-

Las literales indican diferencias estadísticas

5.3.2.1 Análisis de ceniza en la correlación canónica suelo-pasto.

Dentro del análisis de correlación canónica el contenido de ceniza de las especies no tiene ninguna relación con el suelo y con el resto de los análisis de los pastos, esto debido a que el contenido de cenizas es el conjunto de varios minerales es por esto que no existe una relación con uno en específico.

5.3.3 Proteína Cruda

El contenido de proteína de las especies de pasto en cada sitio de estudio se describe en la tabla 12. En el análisis estadístico hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) en el

contenido de proteína entre especies y en cada sitio; pero no hubo en la interacción especie-sitio. Esto nos indica que la cantidad de proteína entre especies no depende de factores externos sino del metabolismo y genética de la planta y la diferencia entre especies y sitios puede depender del sistema de pastoreo que en el sitio se practique.

Tabla 12. Porcentaje de proteína de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.

Sitio	<i>B. gracilis</i>	<i>B. curtipendula</i>	<i>B. barbinodis</i>	<i>M. repens</i>
Adobes	3.21 ^{ab}	3.47 ^b	2.77 ^{ab}	2.56 ^c
Arenal	2.89 ^{bc}	2.85 ^b	2.24 ^{bc}	-
Lobos	3.45 ^a	3.22 ^b	-	-
Sagal	3.49 ^a	4.41 ^a	3.10 ^a	2.56 ^c
T. Cañas	2.59 ^c	3.05 ^b	1.93 ^{cd}	-

Las literales indican diferencias estadísticas

5.3.3.1 Análisis de proteína en la correlación canónica suelo-pasto.

El análisis canónico indico que no existe ninguna una relación entre el contenido de proteína de las especies con el suelo y con el resto de los análisis de los pastos.

Sin embargo sabemos que el nitrógeno forma parte de la estructura de las proteínas, los ácidos nucleicos y la clorofila. Es un activador de enzimas en la respiración y en el metabolismo, esencial como cofactor enzimático para la actividad, regulación y estabilización de la estructura proteica o una combinación de estas. La deficiencia en plantas tiene un efecto drástico sobre la actividad enzimática, desarrollo de los cloroplastos, contenido de proteínas y ácidos nucleicos (Rusell, 1973).

5.3.4 Grasa

El contenido de grasa de las especies de pasto en cada sitio de estudio se describe en la tabla 13. En el análisis estadístico hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) en el

contenido de grasa en cada sitio. El contenido de grasa esta dado por las características de cada sitio. La grasa está formada por carbono, hidrogeno y oxigeno. Los vegetales no toman sus nutrientes sólo de la tierra, también utilizan el oxígeno y el dióxido de carbono del aire que captan principalmente a través de sus hojas, la cantidad disponible de estos está relacionada con el clima de cada región. El hidrogeno lo toma del contenido de amonio (NH₄⁺) proveniente de la actividad microbiológica de la transformación del nitrógeno, pero este también puede ser obtenido del agua que se encuentre disponible.

Tabla 13. Porcentaje de grasa de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.

Sitio	<i>B. gracilis</i>	<i>B. curtipendula</i>	<i>B. barbinodis</i>	<i>M. repens</i>
Adobes	0.19 ^{cd}	0.25 ^b	0.16 ^{bc}	0.30 ^a
Arenal	0.42 ^{ab}	0.63 ^a	0.63 ^a	-
Lobos	0.60 ^a	0.45 ^a	-	-
Sagal	0.14 ^d	0.15 ^b	0.17 ^{bc}	0.30 ^a
T. Cañas	0.26 ^{bc}	0.34 ^a	0.36 ^{ab}	-

Las literales indican diferencias estadísticas

5.3.4.1 Análisis del contenido de grasa de las especies en la correlación canónica suelo-pasto.

El contenido de grasa tiene relación con el contenido de calcio, potasio y cobalto en el suelo. A mayor contenido de grasa en los pastos mayor contenido de calcio y potasio del suelo. A mayor contenido de grasa menor contenido de cobalto del suelo.

Las grasas, ceras, ligninas, proteínas, resinas y algunos otros compuestos orgánicos tienen efecto estabilizador directo del suelo. En las plantas, la grasa se encuentra a nivel de la laminilla media; y si tomamos en cuenta que su función estructural básica es formar parte de las membranas biológicas o como recurso energético. Su asociación con el calcio será debido a que el calcio participa en la elongación y división celular, permeabilidad de las membranas y activación de algunas enzimas críticas para el desarrollo. Las dicotiledóneas tienen un mayor requerimiento de

calcio que las monocotiledoneas, los contenidos registrados constituyen 0.5 - 2 % de materia seca y de 0.15 -0.5 %.

El potasio no forma parte del protoplasma, de las grasas o celulosa. Hay mayor concentración en tejidos jóvenes que en viejos. Está asociado al consumo de lujo, el potasio puede quedar adsorbido o fijado en retículo de arcillas. Actúa en ciertas funciones fisiológicas muy importantes, en el metabolismo de carbohidratos y síntesis de proteínas, cuando existe un exceso de estos la planta los almacena como grasa de ahí la relación con el potasio (Heppler y Wayne, 1985).

El cobalto es un elemento vital durante el ciclo celular, los ácidos grasos esenciales naturales tienen una carga eléctrica que cambia la fluidez de las membranas celulares. Cuando las plantas crecen acumulan cobalto, especialmente en las partes como son los frutos y las semillas. Por lo que existirá un desgaste en el suelo de este mineral, de ahí la relación del contenido de grasa con el cobalto con el suelo (Goldfrank, 2006).

En los Lobos y el Arenal hay más grasa en las plantas que en los otros ranchos ya que en ambos el contenido de calcio y potasio es mayor que en el resto de los sitios y estos minerales son los que condicionan el contenido de grasa, además en ambos sitios el contenido de cobalto en ambos sitios es inferior que en el resto.

5.3.5 Fibra

5.3.5.1 Fibra detergente neutra

El contenido de fibra detergente neutra (FDN) de las especies de pasto en cada sitio de estudio se describe en la tabla 14. Existen significancia estadísticas ($P < 0.05$) en el contenido de fibra detergente neutra entre especies y en la interacción especie-sitio. Lo que nos indica que el porcentaje en las especies depende de las características propias del sitio y que el contenido de fibra detergente neutra es diferente en cada especie. La FDN es la porción de la muestra de alimento que es insoluble en un detergente neutro, está básicamente compuesta por celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice, y se la denomina pared celular.

Tabla 14. Porcentaje de FDN de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.

Sitio	<i>B. gracilis</i>	<i>B. curtipendula</i>	<i>B. barbinodis</i>	<i>M. repens</i>
Adobes	53.08 ^a	48.05 ^a	49.15 ^{ab}	51.99 ^a
Arenal	47.54 ^a	50.35 ^a	45.07 ^{bc}	-
Lobos	42.50 ^b	38.94 ^b	-	-
Sagal	49.37 ^a	48.13 ^a	53.09 ^a	52.25 ^a
T. Cañas	49.98 ^a	54.73 ^a	45.80 ^{bc}	-

Las literales indican diferencias estadísticas

5.3.5.1.1 Análisis del contenido fibra detergente neutra de las especies en la correlación canónica suelo-pasto.

La fibra detergente neutra tiene relación en el análisis de los pastos con la fibra detergente acida y con el contenido de potasio. A mayor contenido de FDN mayor contenido de FDA y potasio.

El valor de FDA se refiere a las porciones de pared de las células del forraje que está constituido por celulosa, lignina y sílice. El valor de FDN, es la pared total de la célula, que está comprendido por la fracción FDA más la hemicelulosa. La relación entre el FDN y la FDA indica una constancia en el contenido de celulosa, lignina y sílice. Estos análisis van de la mano por lo que cuando uno aumenta el otro también y viceversa.

El potasio ayuda a incrementar la fotosíntesis, dado que, a mayores niveles de potasio se incrementa la absorción de CO₂ e interviene en la formación de azúcares, esto se relaciona con la celulosa y hemicelulosa, ya que sus estructuras están formadas por moléculas de glucosa, moléculas de β-D-glucosa unidas mediante un enlace β-1,4 y α-1,6 respectivamente.

El potasio es necesario para la absorción de agua por parte de las raíces, de la cual la FDN obtiene el hidrogeno para formar las uniones entre la hemicelulosa y las

microfibrillas de la celulosa, las cuales aumentan significativamente la resistencia de las células vegetales.

Existen fuertes enlaces químicos entre la lignina y la mayoría de los polisacáridos vegetales, así como también con las proteínas de la pared celular. El potasio actúa como un cofactor o activador de muchas enzimas del metabolismo de carbohidratos y proteínas de la pared celular (Muro, 2007).

5.3.5.2 Fibra detergente acida

El contenido de fibra detergente acida (FDA) de las especies de pasto en cada sitio de estudio se describe en la tabla 15. En el análisis estadístico hubo significancia ($P < .05$) en el contenido de fibra detergente acida en cada sitio y en la interacción especie-sitio. El contenido de fibra detergente acida es diferente en cada especie y este depende de la relación con las características propias de cada suelo en los diferentes sitios de muestreo. La FDA es la porción de la muestra de alimento que es insoluble en un detergente ácido, está básicamente compuesta por celulosa, lignina y sílice. La importancia de la misma radica en que está inversamente correlacionada con la digestibilidad del forraje.

Tabla 15. Porcentaje de FDA de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.

Sitio	<i>B. gracilis</i>	<i>B. curtipendula</i>	<i>B. barbinodis</i>	<i>M. repens</i>
Adobes	51.94 ^a	58.88 ^a	50.94 ^a	58.53 ^a
Arenal	51.74 ^{ab}	42.59 ^{cd}	40.85 ^b	-
Lobos	35.41 ^d	37.28 ^{de}	-	-
Sagal	46.37 ^c	44.72 ^{bc}	49.74 ^a	43.34 ^b
T. Cañas	46.82 ^{bc}	50.37 ^{ab}	46.37 ^a	-

Las literales indican diferencias estadísticas

5.3.5.2.1 Análisis del contenido fibra detergente acida de las especies en la correlación canónica suelo-pasto.

La fibra detergente acida tiene relación con la fibra detergente neutra y con el contenido de cobre de las especies.

La relación entre el FDN y la FDA indica una constancia en el contenido de celulosa, lignina y sílice, por lo que cuando uno aumenta el otro también y viceversa.

El cobre es un microelemento constituyente de ciertas enzimas, incluyendo la oxidasa del ácido ascórbico (Vitamina C), tirosinasa, citocromo-oxidasa y la plastocianina. El cobre es necesario para el funcionamiento de la enzima lignina-oxidasa y también forma parte del fenol oxidasa, que cataliza la oxidación de compuestos fenólicos a cetonas durante la formación de la lignina (Muro, 2007).

5.3.6 Análisis de Minerales

5.3.6.1 Macronutrientes de las especies y su análisis en la correlación canónica suelo-pasto.

El contenido de calcio, magnesio y azufre de las especies de pasto en cada sitio de estudio se muestra en la tabla 16. En el contenido de calcio y magnesio de las especies solo hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los sitios. Lo que nos indica que el porcentaje de estos dos minerales en las especies depende del contenido existente en el suelo.

En lo que respecta al contenido de azufre existen diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las especies, los sitios y la interacción especie-sitio. El contenido de azufre es diferente en cada especie y este depende de la relación con el contenido de azufre propio de cada suelo en los diferentes sitios de muestreo y su disponibilidad para la planta.

Tabla 16. Porcentaje de calcio, magnesio y azufre de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.

Sitio	Especie	% Calcio	% Magnesio	% Azufre
Adobes	<i>Bouteloua gracilis</i>	0.11 ^{cd}	0.14 ^a	0.19 ^a
	<i>Bouteloua curtipendula</i>	0.13 ^b	0.16 ^a	0.17 ^a
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	0.28 ^a	0.17 ^a	0.18 ^a
	<i>Melinis repens</i>	0.11 ^b	0.22 ^a	0.21 ^a
Arenal	<i>Bouteloua gracilis</i>	0.30 ^a	0.12 ^{ab}	0.17 ^a
	<i>Bouteloua curtipendula</i>	0.25 ^a	0.10 ^b	0.12 ^b
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	0.22 ^{ab}	0.18 ^a	0.21 ^a
	<i>Melinis repens</i>	-	-	-
Lobos	<i>Bouteloua gracilis</i>	0.15 ^c	0.11 ^b	0.17 ^a
	<i>Bouteloua curtipendula</i>	0.19 ^a	0.11 ^b	0.16 ^a
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	-	-	-
	<i>Melinis repens</i>	-	-	-
Sagal	<i>Bouteloua gracilis</i>	0.18 ^c	0.16 ^a	0.12 ^b
	<i>Bouteloua curtipendula</i>	0.17 ^a	0.19 ^a	0.12 ^b
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	0.12 ^{bc}	0.18 ^a	0.17 ^a
	<i>Melinis repens</i>	0.21 ^a	0.23 ^a	0.16 ^a
T. Cañas	<i>Bouteloua gracilis</i>	0.23 ^b	0.10 ^{bc}	0.13 ^b
	<i>Bouteloua curtipendula</i>	0.23 ^a	0.10 ^b	0.13 ^b
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	0.21 ^{ab}	0.09 ^b	0.13 ^b
	<i>Melinis repens</i>	-	-	-

Las literales indican diferencias estadísticas

5.3.6.1.1 Calcio

En el análisis de correlación canónica el contenido de calcio de las especies no tiene ninguna relación con los análisis fisicoquímicos y de minerales del suelo, así como tampoco con los análisis químicos y el resto de los análisis de minerales en los pastos.

El contenido de calcio en pastos varía entre 0,1 a 7% en base al peso seco (Hernández Gil, 1989). Todas las especies estudiadas en los cinco sitios se encuentran dentro de estos rangos, a pesar que en el análisis de calcio en suelos existe una deficiencia, esta deficiencia no afecta las necesidades mínimas de calcio de los pastos. Por lo que a pesar de que el contenido de calcio del suelo ha ido disminuyendo a causa de los malos manejos aun no llega a niveles críticos para que los pastos se vean afectados en el contenido de este mineral.

5.3.6.1.2 Magnesio

El contenido de magnesio de las especies tiene relación con el fósforo, cobre y cobalto del suelo.

A mayor contenido de magnesio mayor contenido de fósforo, cobre y cobalto. Esto nos muestra un sinergismo de los 4 minerales que existe desde el suelo y que posteriormente pasa al pasto (Brady y Weil, 2002).

El contenido de magnesio del suelo tiene relación con el contenido del mismo en los pastos, lo que nos indica que la cantidad existente en el suelo tiene relación con la cantidad que la planta pueda absorber.

Las proporciones aproximadas en las plantas varían entre 0,05 - 0,7% en base al peso seco (Hernández Gil, 1989). Al igual que con el calcio existen deficiencias de este mineral en el suelo de los sitios, sin embargo, esta deficiencia no ha alcanzado niveles críticos, ya que las especies en los cinco sitios se encuentran en los rangos normales de contenido de este mineral.

5.3.6.1.3 Azufre

El contenido de azufre de las especies no tiene ninguna relación con los otros análisis de suelo y pasto en la correlación canónica.

El contenido normal de azufre en pastos se encuentra entre 0,05 - 1,5% en base al peso seco (Hernández Gil, 1989). A pesar de que el contenido de azufre del suelo de nuestros sitios se encuentra por encima del promedio normal (500 ppm), el contenido de azufre de las especies en los cinco sitios se encuentra dentro de los rangos normales, lo que nos indica que los pastos ocupan o disponen de la cantidad de azufre necesaria para llevar a cabo sus funciones. Al observar el contenido de azufre en suelo y pasto, podemos apreciar que el contenido en pasto es mayor al del suelo, esta cantidad mayor de azufre en los pastos puede ser debido a que este exceso es absorbido por la planta a por medio de los estomas, tomándolo de el dióxido de azufre de la atmósfera, liberado al quemar carbón, madera, gasolina y otros combustibles fósiles.

El contenido de sodio, potasio y fosforo de las especies de pasto en cada sitio de estudio se muestra en la tabla 17. En el análisis estadístico de varianza de sodio, potasio y fosforo no hay diferencias significativas ($P>0.05$).

Tabla 17. Porcentaje de sodio, potasio y partes por millón de fósforo de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.

Sitio	Especie	% Sodio	% Potasio	Fósforo (ppm)
Adobes	<i>Bouteloua gracilis</i>	0.0139	0.70 ^a	1.83
	<i>Bouteloua curtipendula</i>	0.0146	0.54 ^a	3.73
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	0.0185	0.59 ^a	2.33
	<i>Melinis repens</i>	0.0158	0.78 ^a	5.97
Arenal	<i>Bouteloua gracilis</i>	0.0107	0.32 ^b	1.51
	<i>Bouteloua curtipendula</i>	0.0105	0.25 ^b	2.22
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	0.0128	0.60 ^a	0.78
	<i>Melinis repens</i>	-	-	-
Lobos	<i>Bouteloua gracilis</i>	0.0123	0.39 ^b	1.32
	<i>Bouteloua curtipendula</i>	0.0181	0.12 ^{bc}	1.08
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	-	-	-
	<i>Melinis repens</i>	-	-	-
Sagal	<i>Bouteloua gracilis</i>	0.0189	0.77 ^a	2.23
	<i>Bouteloua curtipendula</i>	0.0131	0.64 ^a	1.65
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	0.0187	0.88 ^a	3.14
	<i>Melinis repens</i>	0.3260	0.74 ^a	2.10
T. Cañas	<i>Bouteloua gracilis</i>	0.0157	0.62 ^a	1.62
	<i>Bouteloua curtipendula</i>	0.0139	0.74 ^a	1.22
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	0.0141	0.87 ^a	1.64
	<i>Melinis repens</i>	-	-	-

Las literales indican diferencias estadísticas

5.3.6.1.4 Sodio

El contenido de sodio de las especies en la correlación canónica no tiene ninguna relación con los análisis de suelo y los demás análisis de pastos.

El contenido de sodio normal en los pastos se encuentra entre 0,01 - 0,5% en base al peso seco (Hernández Gil, 1989). El suelo de todos los sitios de estudio están por debajo de los niveles normales (0,2-0,8%). Todas las especies de los cinco sitios de estudio se encuentran dentro de los rangos normales, por lo que a pesar de que el contenido de sodio del suelo está por debajo de lo normal, este es suficiente para aportar la cantidad necesaria que requieren los pastos.

5.3.6.1.5 Potasio

El contenido de potasio de los pastos tiene relación con la grasa y fibra detergente neutra. A mayor contenido de potasio los pastos mayor contenido de grasa y fibra detergente neutra.

El potasio actúa en funciones fisiológicas como en el metabolismo de carbohidratos y síntesis de proteínas, cuando existe un exceso de estos la planta los almacena como grasa de ahí la relación (Heppler y Wayne, 1985).

Como ya se menciona anteriormente el potasio interviene en la formación de azúcares, esto se relaciona con la celulosa y hemicelulosa, ya que sus estructuras están formadas por moléculas de glucosa. El potasio es necesario para la absorción de agua de la cual se obtiene el hidrogeno para formar las uniones entre la hemicelulosa y las microfibrillas de la celulosa. El potasio actúa como activador de enzimas de proteínas de la pared celular, en las que existen enlaces químicos con la lignina (Muro, 2007).

El contenido de potasio normal está entre 0,30 - 6% en base al peso seco (Hernández Gil, 1989). El contenido de potasio del suelo de los cinco sitios de estudio tiene una deficiencia ya que su porcentaje está muy por debajo de lo normal, sin embargo el contenido de potasio de las especies se encuentra dentro de los rangos normales, a excepción del *Bouteloua curtipendula* en el Arenal con un 0.25% y del *Bouteloua curtipendula* en los Lobos con un 0.12%, estos valores aun no muestran signos de carencia en los pastos, pero esto nos sigue indicando que a

través de los años ha existido mal manejo y sobreutilización de estas tierras y poco a poco se irán mostrando los signos de carencia en los pastos, no solo en este mineral sino en varios.

5.3.6.1.6 Fosforo

El fosforo de las especies tiene relación con el manganeso en el suelo. A mayor contenido de fosforo mayor contenido de manganeso.

El fósforo es un componente de los ácidos nucleicos, los fosfolípidos (esenciales para la membrana celular) y de las moléculas de transferencia de energía como el ATP (adenosin trifosfato).

Entre el manganeso y el fosforo como se mencionó anteriormente existe un sinergismo desde el suelo que en forma de distintos óxidos y óxidos hidratados continua aun dentro de la planta (Heppler y Wayne, 1985).

El contenido de fosforo oscila entre 0,05 - 1%, en base al peso seco (Hernández Gil, 1989). El contenido de fosforo del suelo de los cinco sitios se encuentra debajo de los rangos normales. El contenido fosforo de las especies de los cinco sitios se encuentra por debajo de los rangos normales, sin embargo, no se han registrado efectos adversos o de deficiencia de este mineral, lo único que provoca una deficiencia de fosforo es una maduración con lenta.

5.3.6.2 Micronutrientes de las especies y su análisis en la correlación canónica suelo-pasto.

El contenido de cobre, manganeso y cobalto de las especies de pasto en cada sitio de estudio se muestra en la tabla 18. En el análisis estadístico del cobre hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) en los sitios. Lo que indica que el porcentaje de este mineral en las especies depende del contenido existente en el suelo.

En el análisis estadístico del cobalto hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) en el sitio y en la interacción especie-sitio. El contenido de este mineral es diferente en cada especie y este depende de la relación con el contenido propio de cada suelo y su disponibilidad para la planta.

En el análisis estadístico del manganeso hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) en la especie. Esto nos indica que la cantidad de manganeso entre especies no depende de factores externos sino del metabolismo y genética de la planta.

Tabla 18. Partes por millón de cobre, manganeso y cobalto de las cuatro especies de pasto en los cinco sitios.

Sitio	Especie	Cobre (ppm)	Manganeso (ppm)	Cobalto (ppm)
Adobes	<i>Bouteloua gracilis</i>	1.12 ^b	52.38 ^a	2.30 ^{ab}
	<i>Bouteloua curtipendula</i>	1.22 ^b	69.38 ^a	1.91 ^b
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	1.24 ^b	32.67 ^a	3.39 ^b
	<i>Melinis repens</i>	1.35 ^b	72.39 ^a	1.89 ^b
Arenal	<i>Bouteloua gracilis</i>	1.60 ^a	17.98 ^b	3.20 ^a
	<i>Bouteloua curtipendula</i>	2.46 ^a	23.56 ^b	5.50 ^a
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	1.50 ^a	15.70 ^{bc}	1.30 ^{bc}
	<i>Melinis repens</i>	-	-	-
Lobos	<i>Bouteloua gracilis</i>	1.83 ^a	14.58 ^b	1.30 ^{bc}
	<i>Bouteloua curtipendula</i>	1.76 ^a	19.34 ^{bc}	1.70 ^b
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	-	-	-
	<i>Melinis repens</i>	-	-	-
Sagal	<i>Bouteloua gracilis</i>	1.24 ^a	40.84 ^a	5.18 ^a
	<i>Bouteloua curtipendula</i>	3.37 ^a	48.43 ^{ab}	5.51 ^a
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	1.20 ^a	17.09 ^{bc}	5.97 ^{ab}
	<i>Melinis repens</i>	1.73 ^a	66.15 ^a	6.77 ^a
T. Cañas	<i>Bouteloua gracilis</i>	1.64 ^a	32.39 ^a	4.09 ^a
	<i>Bouteloua curtipendula</i>	1.30 ^a	23.36 ^b	3.80 ^a
	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	1.50 ^a	21.82 ^{ab}	6.54 ^a
	<i>Melinis repens</i>	-	-	-

Las literales indican diferencias estadísticas

5.3.6.2.1 Cobre

El cobre de las especies tiene relación con la fibra detergente acida. A mayor contenido de cobre mayor contenido de FDA.

Como ya se menciona anteriormente el cobre forma parte del fenol oxidasa, que cataliza la oxidación de compuestos fenólicos a cetonas durante la formación de la lignina, así como es necesario para el funcionamiento de la enzima lignina-oxidasa necesaria para la síntesis de lignina (Muro, 2007).

Las proporciones aproximadas de Cobre en los pastos varía entre 1 a 25 ppm en base al peso seco (Hernández Gil, 1989). El contenido de cobre en el suelo de los cinco sitios se encuentra dentro del rango normal (2-100 ppm). El contenido de cobre de todas las especies en los cinco sitios se encuentra entre los rangos normales, por lo tanto, no existe un desgaste de este mineral, lo que nos indica que el contenido de materia orgánica que es la principal proveedora de este mineral, no ha variado y sigue manteniendo las condiciones normales.

5.3.6.2.2 Manganeso

El manganeso de las especies no tiene ninguna relación dentro del análisis de correlación canónica.

El contenido de manganeso de los pastos varía entre 5 y 1500 ppm en base al peso seco (Hernández Gil, 1989). Los niveles aceptables y no excesivos de Mn, caen en el rango de 20 -500 ppm, mientras que cantidades superiores a 700 ppm se consideran tóxicas. El contenido de manganeso del suelo de todos los sitios de estudio está dentro del rango normal (20 a 3000 ppm), con excepción del potrero de La Chole del rancho los Lobos que se encuentra por debajo del rango. El contenido de manganeso de todas las especies en los cinco sitios de estudio se encuentran dentro de los niveles aceptables y no excesivos, por lo que no existen problemas en lo que respecta a este mineral.

5.3.6.2.4 Cobalto

El cobalto de las especies tiene relación con el manganeso del suelo. A mayor contenido de cobalto mayor será el contenido de manganeso del suelo.

Al igual que con el fósforo, entre el manganeso y el cobalto, existe un sinergismo desde el suelo que en forma de distintos óxidos y óxidos hidratados continúa aun dentro de la planta (Heppler y Wayne, 1985).

El contenido de cobalto de los pastos varía entre 0,05 y 10 ppm en base al peso seco (Hernández Gil, 1989). El contenido de cobalto en los suelos de los cinco sitios se encuentra dentro del rango normal (0,13 a 49 ppm). Todas las especies de los cinco sitios de estudio se encuentran dentro de los rangos normales, por lo que el contenido en el suelo de este mineral es suficiente para aportar la cantidad necesaria que requieren los pastos.

VI. CONCLUSIONES

En los suelos de los cinco sitios de estudio existe una deficiencia en calcio, magnesio, sodio, potasio y fósforo.

En lo que respecta a los pastos a pesar de la supuesta deficiencia de calcio, magnesio, sodio, potasio y fósforo en el suelo, estos absorben la cantidad necesaria para su desarrollo.

Los nutrimentos del suelo que tienen mayor influencia sobre la calidad nutrimental y mineral de los pastos son el calcio, magnesio, potasio, fósforo, cobre, manganeso y cobalto. De estos a excepción del magnesio y manganeso, todos se relacionan con el contenido de materia orgánica en el suelo y todos se relacionan con el contenido de potasio en el suelo.

El contenido de grasa de las especies tiene relación con el contenido de calcio, potasio y cobalto en el suelo. Estos tres minerales se relacionan entre sí y tienen relación en común con el contenido de materia orgánica, nitrógeno y cobre en el suelo.

Dentro de las especies, la fibra detergente neutra tiene una relación con el potasio y viceversa, así como la fibra detergente ácida con el cobre. Ambos contenidos de fibra se relacionan, por lo que ambos dependerán del potasio y cobre disponible para los pastos.

El contenido de magnesio de las especies tiene relación con el contenido de fósforo, cobre y cobalto del suelo, así como del mismo magnesio. Estos cuatro minerales tienen en común una relación negativa con el potasio.

El contenido de fósforo y de cobalto de los pastos tiene relación con el contenido de manganeso del suelo. Entre el fósforo y cobalto del suelo existe un sinergismo, y ambos se relacionan negativamente con el azufre y potasio, y positivamente con el cobre en el suelo.

El contenido de potasio en el suelo no muestra ninguna relación de significancia en los análisis de las especies de pasto, sin embargo es muy importante ya que muestra relación en todos los análisis de los suelos.

Dentro del análisis de correlación canónica del suelo, los factores que más influyen son el contenido de materia orgánica, calcio, potasio, fosforo, cobre y cobalto.

Dentro del análisis de correlación canónica suelo pasto, los factores del suelo que más influyen en los pastos son el fosforo, cobre, manganeso y cobalto.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington DC, EEUU.
- ASU. 2011. Arizona State University Herbarium. EEUU. (Herbario de la Universidad estatal de Arizona). www.swbiodiversity.org. *Fecha de consulta: 06/mayo/2011*
- Bateman J.V. 1970. Nutrición animal. Manual de métodos analíticos. Programax Editora México. DF
- Beetle, A.A. 1987. Note worthy grasses from Mexico. XIII. Phytology. pp. 209-297.
- Bornemisza, E. 1982. Introducción a la Química de Suelos. O.E.A., Washington. pp. 74.
- Brady, N y R. Weil. 2002. Soil acidity: Calcium and Magnesium as plant nutrients. pp. 404-410.
- Buckman, H.O y N.C. Brady. 1977. Naturaleza y Propiedades de los Suelos. Montaner y Simón, S.A., Barcelona. pp. 590.
- Calderón, C.F.J. 1965. Nutrición Animal y Dietética Veterinaria, 1ª ed. Ed. Acribia, Zaragoza España, pág. 306.
- Castañeda Nieto Y., S.E. Buntinx Dios, R.B. Angulo Mejorada y R. Rosiles Martínez. 2005. Efecto de la raza de ovejas lactantes, en el consumo voluntario, en pastoreo.

Veterinario México, enero-marzo, año/vol. 36, numero 001. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 41-52.

Castellanos, J.Z., J.X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. 2ª edición.

Castillo. T.J. 1997. Bioquímica de los alimentos. Determinación de humedad. España.

Chapman G.P.y W.E. Peat. 1995. Introducción a las Gramíneas, 1ª Edición, Ed. Acribia, Zaragoza España, Pag.1.

Chapman H. D. y P.D. Pratt. 1981. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Ed. Trillas S. A. México. Pág. 195.

Church, D.C. y W.G. Pond. 1976. Basic Animal Nutrition and Feeding. Oregón, USA pág. 230.

CONAZA. 1994. Manejo y Rehabilitación de las zonas Áridas y Semiáridas de México, 1ª Ed. pág. 5.

COTECOCA. 1973. Zonas Áridas, México, Departamento de Divulgación y Promoción, Productora Nacional de Semillas-SAG.

Echeverría, H.E y H. Sainz Rozas. 2005. Nitrógeno en el suelo. Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Capítulo 4. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.

Fassbender, H.W. y E. Bornemisza. 1987. Química de Suelos. I.I.C.A., Costa Rica. pp. 420.

Fierro G.L.C. 1980. Nutrición animal bajo condiciones de libre pastoreo. Serie Técnico Científica. Departamento de manejo de Pastizales. INIP-SARH. 1(2):1.

Flores Menendez, J.A. 1975. Bromatología Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. Editorial Limusa. 1ª ed.

Georgievskii V.I., B.N. Annenkov y V.T. Sammokhin. 1982. Mineral Nutrition of Animals. Butterworths. London. Pág. 463.

Goldfrank L.R. 2006. Goldfrank's Toxicologic Emergencies. 8th ed. New York, NY. Ed. McGraw Hill.

Hernández Gil, R. 1989. Nutrición Mineral. Facultad de Ciencias Forestales. ULA. Mérida. Pp. 81.

Heppler, P.K. and R.O. Wayne. 1985. Calcium and plant development. Ann. Rev. Plant Physiol. Pp. 397-439.

- Herrera A., Y. 2001. Las Gramíneas de Durango. IPN-CONABIO. Pp 478.
- Herrera A., Y. y J. Rzedowski. 2001. Gramíneas del Valle de México, en: Rzedowski, G.C. y J. Rzedowski, editores. Flora Fanerogámica del Valle de México. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Holecheck, J.L. and M. Vavra. 1982. Botanical composition determination of range herbivore diets: A review. J. Range Manage. 35:309.
- Hughes, H.D., M.E. Heat y D. Metcalfe. 1984. Forrajes, 11aba impresión, Ed. Continental México D.F., pág. 89.
- Ibáñez, J.J. 2006. El suelo y su importancia en la distribución de las plantas. Los suelos y la vida. Revista Universo. 9 abril. Madrid, España.
- IPNI. 2011. International Plant Nutrition Institute. Nortcross, GA. Estados Unidos.
- Lebosoecojo A., C. B. Ammerman, N. S. Raun, J. Gómez, and R.C. Littell. 1980. Mineral nutrition of beef cattle grazing native pastures on the Eastern Plains of Colombia. J. Anim. Sci. 51:1249.
- Lebgue, T y A. Valerio. 1991. Gramíneas de Chihuahua. Manual de Identificación. Colección Textos Universitarios, Universidad Autónoma de Chihuahua, México. Pp. 15-40.

Leyva Rodríguez, L., E. Batista Licea, R. Ruiz Reyes, J.R. Ayala Yera y A. Baldoquín Págan. 2009. Influencia del cambio de uso para cultivar arroz en un suelo de la costa norte de la provincia de las Tunas. Centro de Estudio de Desarrollo Agrario de Las Tunas. CEDAT. Centro Universitario de Las Tunas. Laboratorio Provincial de Suelos. MINAGRI.

López. R.G.F. 1992. Gramíneas, Primera Edición, Ed. Universidad de Chapingo, México D.F. Pag.11.

Matissek, R. 1998. Análisis de los alimentos “Fundamentos, métodos, aplicaciones” Editorial Acribia, 2ª edición. España.

McDowell L.R., J.H. Conrad, J.K. Loosli y D. Morillo. 1979. Resultados de investigaciones minerales en Latinoamérica. 13 Conferencia anual sobre ganadería y avicultura en América Latina. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. Pág. 31.

McDowell L.R. 1992. Minerals in Animal and Human Nutrition. Academic Press. Pág. 524.

Medina, G.G., G. Díaz, J. López H., J.A. Ruiz C. y S.M. Marín. 2005. Estadísticas Climatológicas Básicas del Estado de Durango (Periodo 1961-2003) Libro Técnico No. 1. INIFAP-CIRNOC-CEVAG.

Mejía H.J., A. Mejía H. y E. García A. 1992. Composición mineral de las principales especies forrajeras consumidas por caprinos en un matorral inerme parvifolio de Zacatecas, México. Revista Manejo de Pastizales 5:3. Saltillo, Coah.

- MIFS, 1997. Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. Instituto de la Potasa y el Fosforo. Querétaro, Qro. México.
- Morrison B. F. 1985. Alimentos y Alimentación del Ganado, 1ª ed. Ed. UTEHA, México, Pág. 285.
- Muro A. 2007. Efectos de la fuente de fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y proteína sobre la cinética de degradación ruminal *in vitro*. Universidad Autónoma de Chihuahua Facultad de Zootecnia. Secretaría de Investigación y Posgrado. Chihuahua, Chih., México.
- Narro J., J.A. y L.R.G. Ramírez. 1991. Apuntes de practicultura general. Escuela de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Cieneguilla, Zacatecas. México.
- NRC. 1984. National Research Council Nutrient Requirements of Domestic Animals. Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Academy of Sciences. Washington D. C.
- Oelberg, K. 1956. "Factors Affecting the Nutritive Value of Range Forage", J. Range Manage, vol. 9. Pág. 220.
- Orozco F. y P. Lehner. 1997. Pastizales Naturales, 9ª reimpresión, Ed. Trillas, México, D.F. pág. 9.

Ortíz B. 1977. Edafología. 2a. ed. Patena, A.C. Chapingo, México. Pág. 291.

Pérez B. Ma.T. y J.C. Ordaz S. 1996. Caracterización socioeconómica del sistema de cría de becerros en Balleza, Chihuahua. Tesis de maestría. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Pieper R.D., A.B. Nelson, G.S. Smith, E.E. Parker, E.J.A. Boggino and C.F. Hatch. 1978. Chemical composition and digestibility of important range grass species in South-Central New México, Agr. Exp. Sta. Bull. 662. Pág. 37.

Raleigh, R. J. 1970. Application of Chemical and Botanical Analysis of Range Forage to Range Livestock Management (Proc. Nat. Conf. on Forage Qual. Eval. and Util.), Paper K:1-13, Nebraska, Nebraska Center for Continuing Education.

Ramírez L.R.G. 2007. Los Pastos en la Nutrición de los Rumiantes, 1ª ed. Ed. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey México, Pp.15-17.

Ranganna, S. 1977. Manual of Analysis of Fruits and Vegetable Products. McGraw-Hill.

Rosiere R. E., J.D. Wallace and R.D. Pieper. 1980. Forage intake in two-year old cows and heifers grazing blue grama summer range. J. Range Manage. Pp. 33-71.

Royo, M.M.H. 1988. Contribución a la autoecología del zacate africano (*Eragrostis lehmanniana*). Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Biológicas Univ. Autónoma de Nuevo León. Pág. 87.

Rusell, E.W. 1973. Soil Conditions and Plant Growth. Longman, London. Pp. 849.

Rzedowski, J. 1978. La Vegetación de México. Limusa Willey. Pp 432.

SAGARPA, 2006. Anuario Estadístico del Estado de Durango.

SAGARPA, 2008. <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/estudio/carne.pdf>, 11:39 p.m. 6 de Octubre, 2009. (PRODUCCION DE CARNE EN MEXICO)

Semple, A. 1974. Avances en Pasturas Cultivadas y Naturales, Primera impresión, Ed. Hemisferio, Argentina, Pp. 89-92.

Seoanez, M. 1996. El gran diccionario del medio ambiente y de la contaminación. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa.

Serrato Sánchez R., C.M. Valencia Castro y F. del Río Olague. 1999. Interrelaciones entre variables del suelo y de las gramíneas en el pastizal semiárido del norte de Durango. Terra Volumen 17, numero 1. Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua.

Sillanpaa, M. 1972. Los oligoelementos en los suelos y en la agricultura. FAO, Roma. Pp. 71.

Silva O.M.F., M.F. Ramírez, R.M. Martín y C.E. Enríquez. 1987. Parcelas de adaptación y producción de zacates en el estado de Sonora. Reunión de investigación pecuaria en México. Disponible: <http://patrocipes.uson.mx/patrocines/invpec/pastizales/P87006.html>.

Torres, S. C. X. 2002. Manual Agropecuario, 1ª ed. Ed. IBALPE, Bogotá, Colombia, Pág. 837.

Valdés-Reyna, J. y P. Dávila. 1995. Clasificación de los géneros de Gramíneas (Poaceae) Mexicanas. Acta Botánica Mexicana 33. pp. 37-50.

Van Soest, P.J. 1982. Nutritional Ecology of the Ruminant, Oregon, O&B Books Inc.

Ventimiglia, L.A y J. Camarasa. 2009. Efecto del cloro sobre el rendimiento del trigo y su relación con la variedad. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Pergamino, "Ing. Agr. Walter Kugler". 9 de Julio 2009. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.

Vera Terceros, O. 2007. Introducción a la geología. El Centro de Tesis, Documentos, Publicaciones y Recursos Educativos. Fecha de Consulta: 15 de Abril de 2011 <http://www.monografias.com/trabajos/geologia/geologia.shtml>

Villaseñor R., J.L. y F.J. Espinosa G. 1998. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.

Wainwright, M. 1984. Sulfur oxidation in soils. Adv. Agron. Pp. 349-396.