

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD DURANGO**

**Índice de consumo de especies *Bouteloua gracilis* y
Melinis repens y su efecto en la composición
fisicoquímica del suelo**

Tesis

**Que para obtener el Grado de Maestro en Ciencias en
Gestión Ambiental**

**Presenta:
Ariana Teran Romo**

**Director: M. C. Jesús Herrera Corral
Directora: Dra. Yolanda Herrera Arrieta**



Victoria de Durango, Dgo., Agosto de 2010



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Durango, Dgo. siendo las 10:00 horas del día 24 del mes de Agosto del 2010 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:

“Índice de consumo de especies *Bouteloua gracilis* y *Melinis repens* y su efecto en la composición fisicoquímica del suelo”

Presentada por el alumno:

TERAN

ROMO

ARIANA

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre(s)

Con registro:

B	0	8	1	3	9	7
---	---	---	---	---	---	---

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

Dra. Yolanda Herrera Arrieta

M. en C. Daniel Sergio Páramas García

M. en C. Néstor Naranjo Jiménez

M. en C. José Natividad Uribe Soto

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dr. José Bernardo Proaño Nájera



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
CIIDIR
UNIDAD DURANGO
IPN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

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

México, D.F. a 24 de Junio del 2010

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR Durango en su sesión Ordinaria No. 4 celebrada el día 8 del mes de Abril conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

TERAN

ROMO

ARIANA

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre (s)

Con registro:

B	0	8	1	3	9	7
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

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

"Índice de consumo de especies *Bouteloua gracilis* y *Melinis repens* y su efecto en la composición físicoquímica del suelo"

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 Dra. Yolanda Herrera Arrieta

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

Ariana Terán Romo

Dra. Yolanda Herrera Arrieta
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
I.P.N.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de **DURANGO, DGO.**, el día 24 del mes Agosto del año **2010**, el (la) que suscribe **ARIANA TERAN ROMO** alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL** con número de registro **B081397**, 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 LA DRA. YOLANDA HERRERA ARRIETA** y cede los derechos del trabajo intitulado “**ÍNDICE DE CONSUMO DE ESPECIES *Bouteloua gracilis* y *Melinis repens* Y SU EFECTO EN LA COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL SUELO**”, 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 aryterra2008@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Ariana Teran Romo

Nombre y firma

LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE LLEVÓ A CABO EN EL RANCHO “EL ZAGAL”
EN EL MUNICIPIO DE DURANGO, PROPIEDAD DEL SR. BUENAVENTURA
SARAVIA.

LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO SE REALIZARON EN LA UNIÓN REGIONAL DE
CRÉDITO GANADERO DE DURANGO S.A. de C.V. Y EN EL LABORATORIO DE
BIOTECNOLOGÍA DEL CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL DEL INSTITUTO POLITÉCNICO
NACIONAL, UNIDAD DURANGO.

Dedicada:

A mi madre Patricia Romo Portillo, por haberme dado todo su apoyo y esfuerzo en ésta y todas las etapas de mi vida.

A mi esposo Christian A. Castro Hernández por su paciencia, comprensión y amor en los momentos difíciles. Pero sobre todo por hacerme sentir la mujer más feliz del mundo y por ser mi mejor amigo.

A mi familia, por hacerme entender que los éxitos no se alcanzan en la soledad, sino con el apoyo de las personas que nos quieren.

Í N D I C E

RELACIÓN DE TABLAS.....	i
RELACIÓN DE FIGURAS	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	iv
INTRODUCCIÓN.....	1
I. ANTECEDENTES	2
1.1 Relación entre el suelo- planta- animal	2
1.2 Carga animal.....	3
1.3 Índice de Consumo	3
1.3.1 Importancia de Índice de consumo	4
1.4 Daños en vegetación de pastizales.....	4
1.4.1 Especies invasoras.....	5
1.4.2 Manejo de malezas.....	6
1.5 Fundamentos para la caracterización de pastizales	6
1.5.1 Gramíneas.....	7
1.5.2 <i>Bouteloua gracilis</i>	8
1.5.3 <i>Melinis repens</i>	10
1.6 Índices para medir la vegetación.....	12
1.6.1 Vegetación.....	12
1.6.2 Biomasa.....	12
1.6.3 Frecuencia.....	12
1.7 Consumo voluntario de especies	12
1.7.1 Tamaño corporal.....	13
1.7.2 Estado fisiológico.....	13
1.7.3 Condición temporal:.....	13
1.7.4 Suplementación	13
1.7.5 Valor nutricional de especies que influyen en el consumo voluntario ...	14
1.7.6 Nutrientes en diferentes partes de la planta	14

1.8 Suelo desde la perspectiva agrícola.....	15
1.9 Nutrientes esenciales	15
1.9.1 Daños en la calidad de suelos.....	16
1.9.2 Erosión	17
1.9.3 Desertificación	17
1.9.4 Compactación.....	18
II. JUSTIFICACIÓN	20
III. OBJETIVOS	21
3.1 Objetivo general	21
3.2 Objetivos particulares.....	21
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	22
4.1 Descripción del área de estudio	22
4.1.1 Ubicación del sitio de trabajo.....	22
4.1.2 Clima	23
4.1.3 Tipo de suelo	23
4.1.4 Descripción de la vegetación	24
4.2 Área de muestreo.....	24
4.3 Caracterización botánica.....	24
4.4 Técnicas para describir índices de vegetación.....	26
4.4.1 Densidad	27
4.4.2 Cobertura.....	27
4.4.3 Frecuencia.....	27
4.4.4 Índice de Valor de Importancia	28
4.5 Producción de forraje e Índice de consumo	28
4.5.1 Registro de hojas de especies de plantas.....	29
4.6 Análisis químico del forraje	29
4.6.1 Proteína cruda	29
4.6.2 Extracto etéreo	29
4.6.3 Fibra detergente neutra (FDN) y ácida (FDA).....	30
4.6.4 Determinación de Macronutrientes	30
4.6.5 Determinación de Micronutrientes	30
4.6.6 Germinación de semilla	31

4.7	Análisis fisicoquímico de suelo.....	31
4.7.1	Potencial de hidrogeno	32
4.7.2	Humedad	32
4.7.3	Textura	32
4.7.4	Determinación de Macronutrientes	32
4.7.5	Determinación de Micronutrientes	32
4.7.6	Determinación de carbono orgánico y materia orgánica en el suelo	33
4.8	Análisis estadístico.....	33
4.8.1	Análisis de correlación simple	33
4.8.2	Análisis de correlación canónica.....	33
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
5.1	Caracterización botánica del sitio y técnicas para describir vegetación	34
5.2	Índice de consumo y producción de forraje	38
5.2.1	Cantidad de hoja.....	40
5.3	Análisis químico del forraje	41
5.3.1	Proteína	42
5.3.2	Extracto etéreo	43
5.3.3	Fibras detergentes acidas y neutras.....	44
5.3.4	Macro y micro nutrientes en forraje	45
5.4	Análisis fisicoquímico de suelo.....	49
5.4.1	Potencial de hidrogeno	49
5.4.2	Humedad	49
5.4.3	Textura	51
5.4.4	Análisis de Macro nutrientes en suelo	52
5.4.5	Carbono y materia orgánica:	62
5.5	Interacción de variables de suelo vs planta.....	65
5.5.1	Proteína cruda - cobre de suelo.....	65
5.5.2	Proteína cruda - calcio de suelo	66
5.5.3	Proteína cruda - Índice de consumo	66
5.5.4	Calcio – Potasio.....	66
5.5.5	Calcio planta- calcio suelo	67
5.5.6	Hierro planta- cobre suelo	67

5.5.7 Hierro planta – cobalto suelo	68
5.5.8 Hierro en planta – pH suelos	68
5.5.9 Hierro en planta- magnesio y calcio en suelo	69
5.5.10 Sodio de planta, Mg y Ca del suelo	69
5.5.11 Sodio planta – pH suelo.....	69
VI. CONCLUSIONES.....	71
VII. RECOMENDACIONES.....	74
VIII. REFERENCIAS	75
IX. ANEXOS	82

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Índice de consumo de acuerdo a las diferentes distancias del aguaje	4
Tabla 2. Clasificación de nutrientes en el suelo.	16
Tabla 3. Coordenadas del sitio de trabajo.....	23
Tabla 4. Coordenadas de líneas Canfield.....	25
Tabla 5. Inventario florístico del rancho El Zagal en 2008-2009.	35
Tabla 6. Promedio de la frecuencia, densidad, dominancia y cobertura e índices de valor de importancia y perfil fisonómico del pastizal obtenidos	36
Tabla 7. Índices de vegetación a través de las líneas de muestreo.....	37
Tabla 8. Índice de consumo y producción de gramíneas.....	38
Tabla 9. Altitud e índice de consumo en líneas Canfield.	40
Tabla 10. Resultados de análisis nutrimental de las especies de interés.	42
Tabla 11. Resultados de concentración de macronutrientes en especies en época de lluvias (% y ppm).....	45
Tabla 12. Resultados de concentración micro nutrientes en especies en época de lluvias (ppm).....	45
Tabla 13. Germinación de semillas de las especies.	47
Tabla 14. Resultados de pH en suelo.	49
Tabla 15. Resultados humedad en suelo.....	50
Tabla 16. Tipos de textura en suelo.....	51
Tabla 17. Resultados de concentración de macronutrientes en el suelo (%).....	53
Tabla 18. Resultados de concentración de micronutrientes en suelo (ppm).....	57
Tabla 19. Resultados de concentración de materia orgánica y carbono en suelo (%).	63

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1. <i>Bouteloua gracilis</i>	9
Figura 2. <i>Melinis repens</i>	11
Figura 3. Ubicación del sitio de trabajo.....	22
Figura 4. Representación de la técnica de Intercepción Línea Canfield.....	26
Figura 5. Desplazamiento de <i>Bouteloua gracilis</i> por <i>Melinis repens</i> en el sitio.	34
Figura 6. Índice de consumo en líneas de muestreo.....	39
Figura 7. Banco de semillas de <i>Melinis repens</i>	48
Figura 8. Crecimiento de <i>M. repens</i> sobre la roca.....	48

Índice de consumo de especies *Bouteloua gracilis* y *Melinis repens* y su efecto en la composición fisicoquímica del suelo

RESUMEN

La degradación del pastizal se caracteriza, por la disminución de productividad y el cambio en la composición botánica con incremento de plantas indeseadas; tóxicas o invasoras como *Melinis repens*. Esto es debido a que a mayor índice de consumo (IC) la planta requerirá de mayor energía de rebrote disminuyendo sistema radicular y produciendo disminución en disponibilidad de nutrientes en el suelo. El objetivo fue evaluar el efecto del IC en una especie nativa *Bouteloua gracilis* y otra introducida *Melinis repens* y los cambios en composición fisicoquímica del suelo por el pastoreo continuo, en un pastizal en el municipio de Durango. Se realizaron dos muestreos correspondientes a época de lluvias y secas. Se establecieron doce líneas Canfield y se estimó la producción de forraje mediante la técnica de m² para coleccionar material vegetal. Se registraron las especies en cada línea para establecer diferencias en las dos épocas de consumo en la composición botánica del sitio y determinar el IC. El material vegetal se sometió a un análisis nutrimental. Se realizó un muestreo de suelos el cual se examinó fisicoquímicamente y mediante correlación canónica se verificó la influencia del IC en la composición fisicoquímica del suelo. Se encontró que el IC se ve disminuido con la presencia de *M. repens*. La especie africana además de ser menos apetecida por el ganado que la nativa (*B. gracilis*), tiene gran capacidad para establecerse y desplazar las especies nativas. Se encontró que el IC influye en la concentración de minerales del suelo.

Palabras claves: Índice de consumo, *Bouteloua gracilis*, *Melinis repens*, suelos.

Consumption index of species *Bouteloua gracilis* and *Melinis repens* and the changes in soil physico-chemical composition

ABSTRACT

The degradation of grassland is characterized by lower productivity and the change in botanical composition by increasing unwanted plant growth, whether toxic or invasive as *Melinis repens*. This is because a higher rate of consumption (IC) plants will require more energy for regrowth by reducing the root system and causing the decrease in availability of nutrients in the soil. The objective was to evaluate the effect of IC in a native species *Bouteloua gracilis* and other introduced *Melinis repens* as well as watching changes in soil physico-chemical composition caused by continuous grazing in a pasture in the municipality of Durango. Two samplings were carried out for rainy and dry seasons. Twelve Canfield lines were established and it was estimated forage production by m² technique. Species were recorded on each line in order to establish the differences in the two consumption periods in the botanical composition of the site and determine the IC. The plant material was examined for nutrient analysis; it was conducted a soil sampling which was examined by physicochemical analysis. Results were submitted to a canonical correlation in order to observe the influence of the IC in the physicochemical composition of the soil. It was found that the IC is diminished by the presence of *M. repens*. It was also found that African species is being less desired by the native cattle (*B. gracilis*) and has a great ability to establish and displace native species. It turned out that IC affects the concentration of minerals in the soil.

Key words: Rate of consumption, *Bouteloua gracilis*, *Melinis repens*, soils.

INTRODUCCIÓN

La degradación de un pastizal se caracteriza, fundamentalmente, por la disminución de su productividad y por el cambio en la composición botánica con incremento de plantas no deseadas, ya sean tóxicas o invasoras como es el caso de *Melinis repens*. El manejo inadecuado de los pastizales ya establecidos se señala como el principal factor de influencia antrópica directa, que contribuye a tener un pastizal más susceptible a la degradación.

De acuerdo con Lok, *et al.* (1999): “al evaluar los pastizales se debe realizar un análisis íntegro que abarque el manejo animal, la influencia de las condiciones climáticas, edáficas y las relaciones suelo-planta”. Mientras más completo sea dicho análisis, por la diversidad de indicadores incluidos, mejor será la selección. Además, debe estar sustentado en indicadores sensibles a las modificaciones ambientales, que permitan caracterizar de manera rápida, fácil y confiable el estado de los sistemas y que sean repetibles en el tiempo. Para ello, las principales relaciones que se deben considerar en el manejo de la información de dichos ecosistemas son: suelo-planta-animal-clima-hombre

Para lograr el objetivo de este trabajo se realizaron evaluaciones del pastizal; se emplearon líneas Canfield para registrar la composición botánica del sitio; el método del metro cuadrado para determinar la productividad del pastizal 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 variables vegetación-suelo.

Los datos obtenidos sugieren que en la zona de castigo (aguaje) donde el índice de consumo es igual o mayor a 75%, se incrementan los minerales K, Mg, Ca, P, Mn y Cu en el suelo debido las excretas del ganado. Además el contenido de materia orgánica se incrementa en el suelo en las líneas que presentan mayor índice de consumo, debido a la acumulación de material vegetal y excremento.

I. ANTECEDENTES

1.1 Relación entre el suelo- planta- animal

El impacto del pastoreo de los grandes mamíferos sobre el ecosistema pastizal produce efectos en las propiedades bióticas y abióticas que lo componen. Entre ellas están: las características físicas y químicas del suelo, patrones de colonización y en algunos casos la extinción de algunas especies, cambios en la estructura de la comunidad que se produce al modificar las interacciones ecológicas claves entre organismos.

La familia de las gramíneas, a la que pertenecen las especies del presente trabajo, están consideradas como el grupo más importante de plantas para el hombre, debido a que se utilizan como fuente de forraje para la alimentación de diferentes tipos de ganado del cual el hombre ha obtenido múltiples beneficios y por ende los ha sobreexplotado.

Por lo anterior, en la actividad pecuaria se deben considerar un sinnúmero de elementos. Por ello resulta compleja, puesto que va implícita la relación que existe entre suelo-planta-animal. Al realizarse no solo se ve removida la biomasa aérea de la planta, sino que al mismo tiempo se producen efectos directos e indirectos sobre la dispersión, establecimiento, crecimiento y la reproducción de las plantas además de influir directamente sobre la composición y estructura del suelo (Belsky *et al.* 1989). Debido a ello, el hombre debe manejar una cantidad de factores para hacer que este sistema tan complejo, sea productivo, eficiente y sobre todo sostenible en el tiempo. El éxito en el manejo del pastoreo por tanto determina la calidad en vegetación y suelo permitiendo mayor producción (Flores, 1983).

El gran desafío es poder ajustar la carga animal de acuerdo a la capacidad de carga del potrero que está determinada por las características ambientales propias del mismo, la composición botánica, la condición de la pastura y la disponibilidad de materia seca. La demanda forrajera está influenciada por el tipo de animal, su clase, el estado fisiológico de estos y la época en el cual se realiza el pastoreo. Esto

determina que el manejo de la carga animal debe ser lo más flexible posible y se deberían realizar ajustes de carga de acuerdo a la condición de cada potrero y la categoría de la unidad de producción (Flores, 1983).

1.2 Carga animal

La carga animal no es un sinónimo de la capacidad de carga, la cual es definida como la carga máxima animal posible sin ocasionar daño a la vegetación o de aquellos recursos relacionados a ella (Aguirre y Huss, 1981).

La carga animal, en un determinado momento, puede ser mas, menos o igual a la capacidad de carga. La determinación de la capacidad de carga es la medida más difícil de todas las que se realizan en pastizales debido a las variaciones extremas en el clima, vegetación, suelo, infraestructura del rancho y especies de animales pastoreando. Es mejor decir estimación de la capacidad de carga y no determinación de la capacidad de carga. La capacidad de carga cuando es estimada siempre se expresa ya sea en unidad animal o unidades animales. Una unidad animal es considerada una vaca adulta con un peso de 450 kg con su cría o su equivalente (Aguirre y Huss, 1981).

1.3 Índice de Consumo

Es una de las variables más importantes para alcanzar un manejo sustentable del pastizal. Por definición el índice de consumo es la cantidad de pasto consumido por unidad de tiempo durante un periodo de pastoreo determinado (masa por unidad de área y tiempo).

Pámanes (2008) cita que esta variable aumenta mientras más cerca se esté de la zona de sacrificio (abrevadero, saladero o comedero). En la siguiente Tabla 1 se muestran los diferentes índices de consumo a diferentes distancias de la zona de aguaje.

Tabla 1. Índice de consumo de acuerdo a las diferentes distancias del aguaje

Distancia	Índice de consumo
Agua	80 a 100%
½ Km	60 a 80%
¾ Km	50 a 60%
1 ¼ Km	40 a 50 %
1½ Km	20 a 40%
1 1/3 Km	0 a 20%

Fuente: Pámanes, 2008

1.3.1 Importancia de Índice de consumo

El principal problema de la producción pecuaria es el manejo de pastizales debido a que la mayoría de las veces no es planificado ni dirigido de una manera lógica y racional. No es posible conseguir una alta producción si no se hace una adecuada planificación del uso de dicha área. Dentro de la planificación se deben tener en cuenta ciertas variables para lograr la conservación de los ecosistemas. Una de las más importantes es el Índice de consumo, pues se considera que cuando se tiene un valor muy alto de dicho índice, la planta requerirá de mayor energía para su capacidad de rebrote, lo que traerá consigo la disminución en la calidad de raíces obteniendo menor crecimiento de vegetación.

1.4 Daños en vegetación de pastizales

La respuesta de la comunidad vegetal frente a la acción de los herbívoros domésticos ha sido estudiada previamente en ecosistemas de pastizales de Sudamérica. Los trabajos incluyen el análisis de cambios en su fenología, en composición florística, diversidad en biomasa y productividad primaria neta aérea (Nai-Bregaglio *et al.* 2002).

Vargas *et al.* (2002): “El disturbio por pastoreo de ganado afecta principalmente la composición de especies y la estructura de las comunidades a través de la alteración del balance competitivo y del éxito de reclutamiento entre especies pastoreadas y no pastoreadas. Por otro lado, el pisoteo afecta y elimina plántulas y especies erectas de bajo porte. En síntesis, los efectos directos se relacionan con daños selectivos a plantas individuales por herbivoría y pisoteo. A mediano y largo plazo ocurren cambios en las comunidades de plantas y animales, perturbaciones en el suelo y en los procesos hídricos, lo cual tiene consecuencias sobre la disponibilidad de recursos y hábitats para la biota nativa”. Como se puede observar, es necesario ajustar el índice de consumo y carga animal y así evitar la consecutiva degradación de los recursos naturales implicados en el manejo de la actividad pecuaria.

1.4.1 Especies invasoras

Chambers y Oshant. (2004), citan de manera magistral la acción de las especies invasoras:

“*El Engaño se Adueña*, nos advierte: el avance era tan rápido que impedía su registro; uno simplemente despertaba una fina mañana de primavera para encontrar el agostadero dominado por una nueva maleza”.

Estas plantas son calificadas como invasoras porque tienen rasgos de malezas que les permiten invadir, permanecer y algunas veces dominar, de manera eficaz, comunidades de plantas nativas. Las invasoras son particularmente eficaces para capturar espacio y recursos en lugares perturbados. Exóticas (o no nativas) significa que estas plantas no tuvieron su origen en el agostadero que se encuentran. Las formas en la que llegaron a estos lugares son muy variadas, pero no cabe duda que se han convertido en un problema sumamente serio (Chambers y Oshant, 2004).

Los alcances y costos de las invasiones biológicas son enormes, tanto en términos ecológicos como económicos. El costo ecológico lo constituye la pérdida irrecuperable de especies y la degradación de los ecosistemas. Todo esto compromete la integridad ecológica de los sistemas terrestres y acuáticos, tanto

marinos como epicontinentales, impactan en forma directa a la agricultura, silvicultura y pesca, representan una amenaza para la salud pública y una pérdida de los usos culturales tradicionales de los recursos naturales (Chambers y Oshant, 2004).

1.4.2 Manejo de malezas

Chambers y Oshant. (2004), afirman que una vez que se identifica un problema por invasión de malezas, tanto administradores de tierras como propietarios de viviendas deben evaluar cuidadosamente la situación antes de utilizar una estrategia de manejo, pues ésta en vez de contribuir a la exterminación de la especie podría representar un medio de resistencia para la misma.

La prevención, restauración y control son componentes importantes que deben tomarse en cuenta. La prevención podría ser sencillamente identificar un área libre de plantas invasoras (como es el caso de *M. repens*) y protegerla cuidadosamente a fin de conservarla sin malezas.

Las opciones de control incluyen métodos físicos, biológicos y químicos. Con frecuencia, una combinación de técnicas funciona mejor. La aplicación de múltiples métodos de control requiere una calendarización cuidadosa y es conocida como manejo integrado. Cabe mencionar que antes de iniciar y aplicar cualquier tipo de manejo de maleza, siempre se recomienda estar absolutamente seguro de la identificación de las plantas pues de lo contrario se podría acabar con una o más especies nativas (Chambers y Oshant, 2004),.

1.5 Fundamentos para la caracterización de pastizales

Aguirre y Huss (1981), citan que un pastizal es cualquier área que produce forraje, ya sea éste en forma de zacate, plantas parecidas a los zacates, leguminosas, arbustos ramoneables, hierbas o mezclas de estas. Cuatro clases de pastizales son reconocidos: Naturales, cultivados (artificiales), residentes e inducidos.

De acuerdo con los autores antes citados, define al pastizal como “Todas las tierras que producen forraje nativo para el consumo de animales y tierras que son re-vegetadas natural o artificialmente, para proveer una cubierta de forraje que es manejada como vegetación nativa”.

En este punto es muy importante mencionar las clases de plantas forrajeras, que a su vez se dividen en cinco categorías: Hierbas, especies parecidas a los zacates, arbustos, leguminosas y zacates. El último tipo es al que pertenece el género en el cual se enfocará este trabajo, puesto que dentro de esta categoría se encuentra cualquier miembro de la familia Gramíneae (al que pertenece el género *Bouteloua*) (Aguirre y Huss, 1981).

1.5.1 Gramíneas

Según Herrera y Pámanes (2006), las gramíneas forman parte de una de las familias más importantes de plantas que poseen un potencial ecológico muy importante por su gran diversidad y su capacidad formadora de suelos. Además de lo anterior, también son importantes desde un punto de vista económico puesto que representan de forma directa e indirecta la base de la alimentación de millones de seres humanos en el mundo.

Cifras citadas por Herrera y Pámanes (2006), muestran que esta familia de plantas es la tercera más grande de México con un número aproximado de 197 géneros y 1127 especies para el país; cerca el 50% de géneros y el 30% de las especies se encuentran dentro del Estado de Durango.

A continuación se describen las dos especies con las cuales se llevaron a cabo los análisis correspondientes en este trabajo.

1.5.2 *Bouteloua gracilis*

Según Herrera y Pámanes (2006), *Bouteloua gracilis* tiene las siguientes características:

Características morfológicas:	<p>Son zacates de tipo perennes, con un color verde-grisáceo.</p> <p>Los tallos son de 20 – 70 cm de alto.</p> <p>Las hojas son muy finas y enrolladas que miden desde 5- 30 cm de largo y de 1.5 – 4.5 cm, persistentes.</p> <p>Las espiguillas características de estas plantas son de un color verde con algunos tintes purpuras en la madurez.</p>
Crece en:	<p>Es común encontrar a esta planta en pastizales naturales y matorrales xerófilos. Suele ser muy escasa en bosques de encino y pino en bosques de pinos piñoneros y bosques tropicales caducifolios.</p> <p>Indicador de un buen manejo del pastizal</p> <p>Altitud: 1400-2550 msnm.</p>
Condición:	<p>Es nativa de Norteamérica, principalmente abundante en el Norte de México.</p>
Preferencia forrajera:	<p>Excelente, se encuentra disponible en casi todo el año, por su alto contenido proteico que prevalece aun cuando está seco. El problema es que disminuye hasta la extinción en pastizales con sobrepastoreo.</p>

En la Figura 1 se muestra un ejemplar de la especie *Bouteloua gracilis* según Herrera y Pámanes (2006).



Figura 1. *Bouteloua gracilis*

1.5.3 *Melinis repens*

Su nombre común es “zacate rosado” y según Herrera y Pámanes (2006) tiene las siguientes características:

Características morfológicas:

Son zacates perennes, amacollados.

Tienen tallos de 60 -100 cm de altura, erectos.

Las hojas miden de 6 a 17 cm de largo y 2 a 5 mm de ancho, hirsutas.

La panícula mide de 14 a 22 cm de largo de forma piramidal.

Espiguillas de 3.5 a 5 cm de largo, cubierto de pelos muy suaves que miden de 6 a 8 mm, de color rojizo o rosado con toques plateados.

Crece como:

Maleza abundante en la orilla de caminos y carreteras, así como en pastizales perturbados.

Condición:

Nativa de África, introducida y naturalizada en México.

Invasora en pastizales con sobrecarga animal o mal manejados.

Preferencia forrajera:

Es de gustosidad mediana para el ganado vacuno cuando esta tierno, pero muy mala preferencia al madurar

En la Figura 2 se muestra un ejemplar de la especie *Melinis repens* según Herrera y Pámanes (2006).



Figura 2. *Melinis repens*

1.6 Índices para medir la vegetación

1.6.1 Vegetación

De acuerdo con Rzedowski (1978) la vegetación es el conjunto de plantas que habitan en una región, analizando desde el punto de vista de las comunidades bióticas que las forman. En otras palabras, la vegetación es la suma total de todas las plantas vasculares en una comunidad específica (Aguirre y Huss 1981).

1.6.2 Biomasa

Rzedowski (1978) define como biomasa, a la cantidad de materia orgánica que forma parte de los organismos vivientes en un área determinada.

1.6.3 Frecuencia

Es una expresión estadística que señala la proporción entre el número de áreas muestreadas en las que se ha registrado una especie determinada y el número total de las áreas muestreadas (Rzedowski, 1978).

La vegetación se expresa por medio del porcentaje de frecuencia de cada uno de los constituyentes, puesto que dicho dato no es una medida relativa de las proporciones de las especies en un área determinada. La suma del porcentaje de frecuencia no tiene que dar como resultado un cien por ciento; sin embargo, para una especie individual no puede exceder un cien por ciento (Aguirre y Huss, 1981).

1.7 Consumo voluntario de especies

En la nutrición animal influyen aspectos fundamentales que se deben tomar en cuenta: los requerimientos del animal, la composición nutricional del alimento, la digestibilidad del mismo y la cantidad consumida por el animal. Pero, menciona que es difícil determinar el valor nutritivo y la digestibilidad de especies debido a que el animal selecciona su dieta a partir de la combinación de especies y partes de plantas. Además de lo anterior conocer la cantidad de alimento consumido por cada animal resulta ser complicado (Mejía, 2002).

Mejía (2002) menciona que hay diversos factores que afectan el consumo voluntario como se muestra a continuación:

1.7.1 Tamaño corporal

Si la capacidad física del tracto digestivo no es un factor limitante, el máximo nivel de consumo se manifestará por efecto de los requerimientos energéticos del animal. La demanda de energía es proporcional al tamaño corporal o peso metabólico, que se expresa elevando el peso vivo a la potencia 0.75; de esta forma las necesidades de energía por unidad de peso de animales pequeños son mayores que para animales de talla grande, reflejándose en una selección más eficiente de la dieta por los de peso menor.

1.7.2 Estado fisiológico

Chávez (1990) cita que durante las fases de crecimiento y los ciclos reproductivos se presentan cambios importantes en los requerimientos de los animales en pastoreo. Las etapas de preñez y lactancia representan un considerable incremento en la demanda de energía; sin embargo, tiene diferentes efectos en el consumo voluntario de forraje, ya que un animal gestante se encuentra físicamente con menor capacidad digestiva a consecuencia del crecimiento uterino y la compresión del rumen.

Con relación a lo anterior, Allison (1985) reportó que los animales son selectivos, prefieren forrajes con mayores niveles de proteína cruda y menores de fibra detergente ácida y celulosa; lo que se relaciona con la degradabilidad en el rumen.

1.7.3 Condición temporal:

El consumo está relacionado con la condición temporal al igual que al tamaño corporal. Sin embargo, es un índice pobre de la demanda energética y por lo tanto del consumo, cuando diferencias en productividad están presentes (Mejía, 2002).

1.7.4 Suplementación

Generalmente se ha observado (Allison, 1985) que la adición de carbohidratos de fácil digestión provoca una disminución en el consumo voluntario de forraje; por el

contrario, la suplementación proteica favorece la actividad microbiana rumial, incrementando la digestibilidad y la velocidad de pasaje de la digesta y por ende el consumo.

1.7.5 Valor nutricional de especies que influyen en el consumo voluntario

Según Lyons *et al.*, (1996) el ganado tiene acceso a una gran variedad de especies forrajeras, las cuales son diferentes en cuanto a composición nutricional. Las plantas proporcionan al ganado nutrientes como proteínas, hidratos de carbono, vitaminas y minerales indispensables para realizar funciones de crecimiento, reproducción y producción. La cantidad de dichos nutrientes dependen del tipo de planta, parte de la planta, edad de las especies, época, clima, tipo de suelo, sitio, carga animal y compuestos anti nutricionales.

Lyons *et al.* (1996) mencionan que las plantas se dividen en dos partes conocidas como contenido celular y pared celular. El contenido celular conocido o partes solubles (fácilmente digestible), corresponde a la porción que se encuentra envuelta en la pared celular. El contenido celular se refiere a la proteína cruda (ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas y otros compuestos nitrogenados), azúcares, almidón y lípidos. Por otra parte, la pared celular se encuentra formada por un material que resulta menos digestible denominado fibra, la cual se encuentra constituida por hemicelulosa, celulosa y la porción que resulta ser la menos digestible, lignina. Las partes que anteriormente se mencionaron se usan para realizar reportes de análisis de forraje en fracciones conocidas como fibra neutro detergente (FDN) y fibra ácido detergente (FDA). La FDN se encuentra formada por la hemicelulosa, celulosa y lignina; la FDA solamente se encuentra constituida por la celulosa y la lignina (Lyons *et al.* 1996).

1.7.6 Nutrimientos en diferentes partes de la planta

En las hojas de las plantas es donde se encuentra la mayor concentración celular. Por lo anterior se entiende que también hay mayor contenido en proteínas, azúcares, vitaminas y minerales en contraste con los contenidos en los tallos de las plantas

(Lyons *et al.*, 1996). Además contienen menos cantidad de hemicelulosa, celulosa y lignina; en este caso los que poseen una mayor cantidad son los tallos.

Las inflorescencias, frutos y semillas tienen una mayor concentración en contenido celular que las hojas (Lyons *et al.*, 1996).

1.8 Suelo desde la perspectiva agrícola

Según Navarro y Navarro (2003) el término suelo se deriva del latín *solum*, que significa piso, se define como la capa superior de la tierra que se distingue de la roca sólida y es el lugar en donde surgen reacciones químicas que ayudan al crecimiento de las plantas. Dicho lo anterior, el suelo puede considerarse como una serie de formaciones geológicas naturales desarrolladas bajo condiciones muy diversas de clima y materiales de origen, lo cual provoca su constante evolución y por ende su gran variedad.

El suelo tiene como función principal, soportar la vegetación. Desde este punto de vista Navarro y Navarro (2003) encuentran una concepción fisiológica vegetal que define al suelo como la mezcla de partículas sólidas pulverulentas, de agua y aire que provista de elementos nutritivos necesarios para las plantas, puede servir como un sustento para dar vida a la vegetación.

1.9 Nutrientes esenciales

Se conoce que 16 elementos químicos son esenciales para el crecimiento de la planta; éstos se encuentran divididos en dos grandes grupos: minerales y no minerales (Instituto de la Potasa y el Fosfato, 1997).

Dentro del grupo de los no minerales se tiene al Carbono (C), hidrogeno (H) y oxigeno (O). Estos nutrientes se encuentran básicamente en el agua y en la atmosfera y son fundamentales en el proceso de fotosíntesis.

Los nutrientes que contiene el suelo de naturaleza mineral son 13. Estos se encuentran divididos en tres grupos: primarios, secundarios y micro nutrientes, como se muestra en la Tabla 2.

Los nutrimentos primarios son los más deficientes en el suelo, debido a que las plantas los absorben en cantidades relativamente altas.

Los nutrimentos secundarios y los micro nutrientes son en general los menos deficientes en el suelo ya que las plantas los utilizan en pequeñas cantidades. Cabe mencionar que éstos son tan importantes como los nutrimentos primarios y la planta los requiere para crecer.

Tabla 2. Clasificación de nutrientes en el suelo.

Tipo	Nutriente
Primarios:	Nitrógeno (N)
	Fósforo (P)
	Potasio (K)
Secundarios:	Calcio (Ca)
	Magnesio (Mg)
	Azufre (S)
Micro nutrientes:	Boro (B)
	Cloro (Cl)
	Cobre (Cu)
	Hierro (Fe)
	Manganeso (Mn)
	Molibdeno (Mo)
	Zinc (Zn)

Fuente: Instituto de la Potasa y el Fosfato (1997).

1.9.1 Daños en la calidad de suelos

Los problemas más comunes en relación al suelo tienen que ver con las actividades de las personas. Al respecto, los problemas directamente derivados del uso antrópico de los suelos son actualmente muy severos. Erosión, desertificación, contaminación,

compactación, el avance de las ciudades y urbanización, y la pérdida de fertilidad, se encuentran entre los problemas más graves que afectan hoy a los suelos (www.ine.gob.mx).

1.9.2 Erosión

La erosión es la pérdida de suelo fértil debido a que el agua y el viento normalmente arrastran la capa superficial de la tierra hasta el mar. El ser humano acelera la pérdida de suelos fértiles por la destrucción de la cubierta vegetal, producto de malas técnicas de cultivo, sobrepastoreo, quema de vegetación o tala del bosque. Las prácticas productivas sin criterios de protección contribuyen en gran medida a que este problema se agrave cada día más.

La degradación del suelo reviste gran importancia porque su regeneración es en extremo lenta. En zonas agrícolas tropicales y templadas se requiere de un promedio de 500 años para la renovación de 2.5 centímetros de suelo (www.ine.org.mx).

“El cultivo de tierras en lugares con pendiente aumenta la posibilidad de agotamiento del suelo fértil, ya que es muy fácil el arrastre de tierra por acción de la lluvia. La actividad minera ha utilizado grandes cantidades de leña, eliminando así la cubierta vegetal imprescindible para la protección del suelo. Estas prácticas se remontan a la época de la colonia, cuando la deforestación acabó con ricas áreas forestales y las aridizó” (www.ine.org.mx).

Es importante destacar que la erosión del suelo, además de afectar y alterar los ecosistemas, afecta seriamente a la gente y a la economía de un lugar. Hay una relación directa entre la disminución de la capacidad productora del suelo y la disminución de los ingresos de la comunidad (www.ine.org.mx).

1.9.3 Desertificación

De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología: “La desertificación es la intensificación de la aridez. Cabe destacar que este término se utiliza para describir procesos causados por los seres humanos. En cambio, otro concepto llamado

"desertización" se utiliza para describir el proceso natural de la formación de desiertos. La desertificación, definida como la intensificación de las condiciones desérticas y el decrecimiento paulatino de la productividad de los ecosistemas, es generada principalmente por el ser humano, que actúa sobre un medio frágil y lo presiona en exceso para obtener su sustento" (www.ine.org.mx).

Cuando se tala vegetación para despejar tierras o usar leña, la capa fértil del suelo es expuesta a la lluvia, viento y sol; provocando que la corteza del suelo se endurezca y se seque, impidiendo la infiltración de más agua. Así comienza el proceso de desertificación, ya que disminuye la filtración acuosa a depósitos subterráneos y la capa de suelo superficial se erosiona y se convierte en estéril.

Las principales causas de desertificación son la agricultura de secano y riego, la erosión hídrica y eólica, los cambios climáticos, el sobrepastoreo, la deforestación, los incendios forestales, la extinción de especies nativas de flora y fauna, y la expansión urbana (www.ine.org.mx).

1.9.4 Compactación

La compactación del suelo se produce por el paso de personas, animales y vehículos en forma repetida por el mismo lugar. Esto provoca la desaparición de los espacios existentes entre las partículas del suelo, lo cual disminuye la cantidad de oxígeno presente y, por ello, la microflora y microfauna (www.ine.org.mx).

La degradación de los suelos es como una crisis silenciosa que está avanzando tan rápidamente en América Latina que pocos países tienen la esperanza de alcanzar una agricultura sostenible en un futuro próximo. Es un problema que, a pesar de estar amenazando la subsistencia de millones de personas en la región, tiende a ser ignorado por los gobiernos y la población en general (www.ine.org.mx).

Los Gobiernos nacionales, estatales y municipales tienen la responsabilidad urgente de crear una mayor conciencia en la población acerca del deterioro de los recursos

de suelo y de su efecto negativo sobre la producción agrícola y la economía de sus países.

Las causas de la degradación de suelos tienen su origen en factores socioeconómicos, en la sobre-explotación de la capacidad de uso de las tierras y en prácticas de manejo de suelo y agua inadecuadas (www.ine.org.mx).

La información disponible de investigación sobre los tipos, causas, grado y severidad de la degradación de tierras es todavía insuficiente en la mayoría de los países de América Latina. Esta falta de información dificulta enormemente la identificación y la puesta en práctica de estrategias efectivas de conservación y rehabilitación de tierras (www.ine.org.mx).

Para superar los problemas mencionados se deben considerar soluciones que impliquen una acción inmediata y, también, métodos de prevención para impedir mayor deterioro futuro. Parte del deterioro causado lo puede solucionar la naturaleza misma con sus ciclos naturales. Por ello la acción del ser humano debiera contribuir a crear las condiciones necesarias para que la naturaleza emprenda su obra de restauración. Sin embargo, recuperar el suelo una vez que éste ha sido destruido es un proceso lento si se lo deja sólo a su ritmo natural, y muy costoso si se trata de acelerarlo. Por lo tanto, lo más razonable es evitar que se destruya el suelo a través de una producción sustentable (www.ine.org.mx).

II. JUSTIFICACIÓN

Los pastizales han estado sujetos al pastoreo por la actividad de animales domésticos desde la ocupación española, hace más de 500 años (Días *et al.* 1994), y soportan actualmente un régimen de ganadería extensiva, con cargas moderadas hasta cargas altas, de ganado vacuno y equino.

Por otro lado, el pastizal está considerado como un ecosistema que produce forraje, ya sea en forma de zacates, leguminosas, arbustos, hierbas o mezclas de estas y para ello se interrelacionan suelo, planta, y clima. La eficiencia depende del uso que se le dé y no es más eficiente aquel que obtiene mayores ganancias por unidad de área a costas del deterioro del recurso.

En el manejo de pastizales existen muchas variables a considerar y una de las que tiene mayor peso es el establecimiento del índice de consumo del cual depende la recuperación de la especie utilizada; ya que se considera que a mayor índice de consumo la planta requerirá de una mayor energía para su rebrote disminuyendo el sistema radicular y produciendo la disminución o pérdida en disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Este fenómeno se da principalmente en las gramíneas de alta preferencia forrajera como las del género *Bouteloua*; debido a la preferencia que tiene el ganado por la especie; de tal manera que la consumo excesivo puede llegar a eliminar o disminuir significativamente por causa del sobre pastoreo. Esto lleva a que el ganado se vea obligado a modificar su alimentación consumiendo especies invasoras como *M. repens*. Por ello el monitoreo de las dos especies es de ayuda para predecir los cambios que el pastoreo puede realizar, tanto en vegetación como en suelo y con ello ajustar el manejo para llegar a la sustentabilidad.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar el índice de consumo anual en especies de *Bouteloua gracilis* y *Melinis repens* y los cambios en la composición fisicoquímica del suelo en un pastizal mediano, ubicado en el rancho “El Zagal” en el municipio de Durango, en época de lluvias y secas en 2008 y 2009 respectivamente.

3.2 Objetivos particulares

- Determinar composición botánica del pastizal en el agostadero
- Evaluar la composición química de *Bouteloua gracilis* y *Melinis repens*
- Evaluar las condiciones fisicoquímicas del suelo.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Descripción del área de estudio

4.1.1 Ubicación del sitio de trabajo

El estudio se realizó en el rancho "El Zagal" ubicado dentro del municipio de Durango, a 19.2 km por la carretera México hasta llegar al entronque Guadiana; de ahí, a 7.3 km en el entronque al inicio del agostadero Guadiana. Llegando al punto anterior, son 32 km de terracería hasta finalmente llegar al agostadero, cuya ubicación se muestra en la Figura 3.

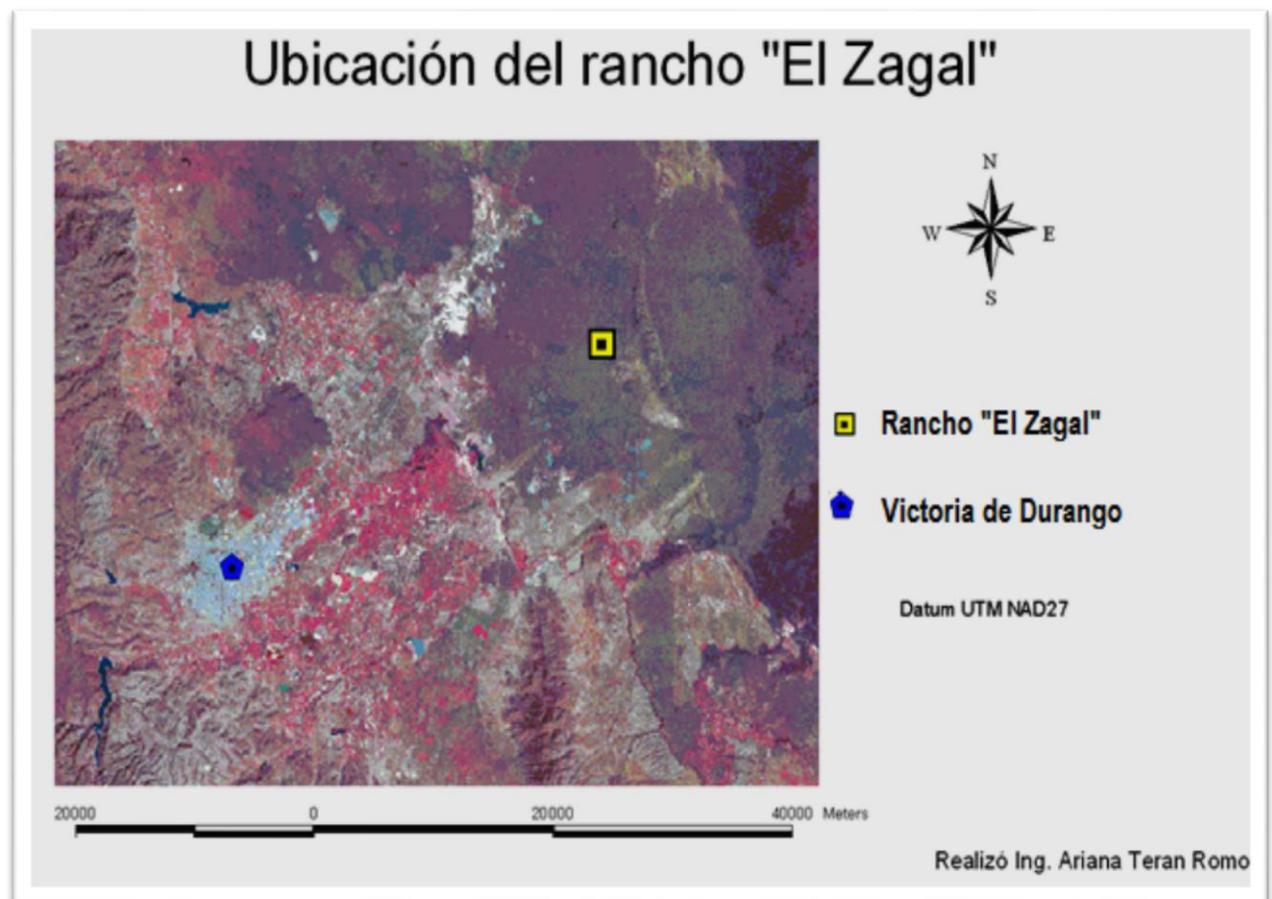


Figura 3. Ubicación del sitio de trabajo

En la Tabla 3 se muestran las coordenadas de los cuatro puntos que constituyen el área en la que se realizó la investigación.

Tabla 3. Coordenadas del sitio de trabajo.

PUNTO	N	W
1	24°, 10.418'	104°, 20.419'
2	24°, 10.311'	104°, 20.619'
3	24°, 10.311'	104°, 21.279'
4	24°, 10.309'	104°, 21.275'

4.1.2 Clima

El clima que se presenta según González *et al.* (2007), es del semiseco templado (BS₁k) y en menor proporción el seco templado (BSk). Con respecto a las temperaturas medias anuales van desde 13 a 22° C, con una precipitación anual de 350 a 500 mm, con régimen de lluvias en épocas de verano y una época de sequía de 6 a 9 meses.

4.1.3 Tipo de suelo

Por la región volcánica en la que se encuentra, hay presencia de roca ígnea de color rojizo hasta un café muy oscuro. La profundidad del suelo varía dependiendo de la topografía del terreno. Presenta suelos Profundos, con profundidad medios y someros delgados (González *et al.* 2007).

La altura promedio que se presenta es de los 1900 a 1920 msnm con topografía ligeramente ondulada. El color que se presenta en el suelo de esta zona, es de color rojizo a rojizo oscuro (González *et al.* 2007).

4.1.4 Descripción de la vegetación

Durante la época de lluvias y secas se realizaron recorridos por el área de estudio para observar las diferentes especies de plantas que componen la vegetación dentro de la zona. Para identificar los pastos fue necesario recurrir a la “Guía de pastos para el ganadero del Estado de Durango” de Herrera y Pámanes (2006).

4.2 Área de muestreo

En la primera visita que se realizó al sitio de estudio, fue necesario reconocer las diferentes asociaciones vegetales que se encontraban en el área. Todo lo anterior para reconocer las especies presentes en el área. Se colectaron las especies de interés y un ejemplar se registró en el herbario del CIIDIR-IPN Unidad Durango.

La superficie que comprende al rancho “El Zagal”, son 3600 ha; sin embargo la superficie que se prestó para realizar los análisis correspondientes son 200 ha. Dicha superficie fue elegida debido a que esta zona es representativa de todo el rancho; es decir, se presentan las mismas asociaciones y las mismas especies, además de tener uso igual del pastizal.

Se realizaron dos muestreos de vegetación: al final de la época de lluvias (octubre, 2008) y en la época de secas (mayo, 2009). Durante nueve meses (octubre a junio) se monitorearon las líneas Canfield establecidas para determinar el índice de consumo.

4.3 Caracterización botánica

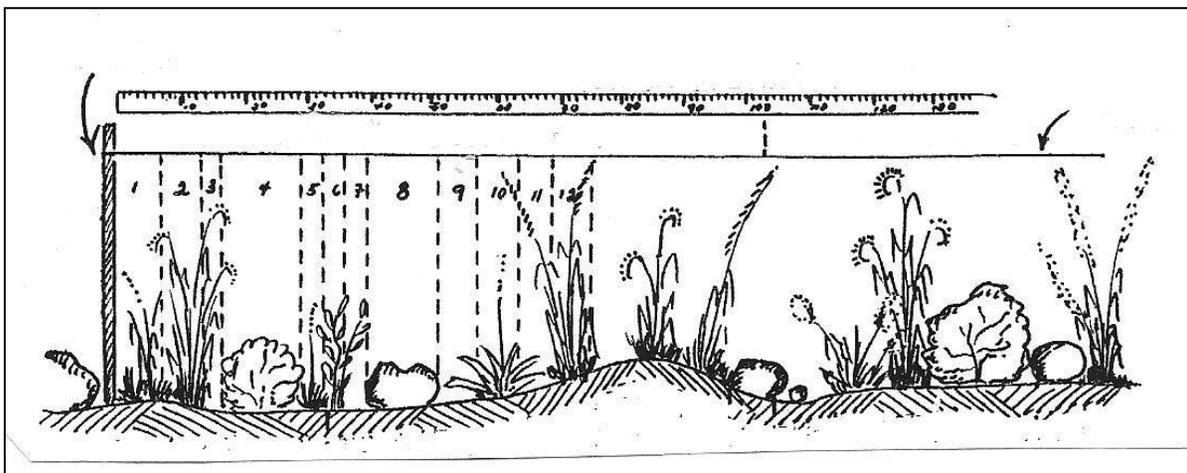
Para lograr la representatividad deseada en el muestreo de la vegetación, fue necesario determinar el área mínima por la técnica de Muller-Dombois *et al.* (1974).

Una vez que se definió el área mínima de muestreo, se seleccionó el potrero “San Isidro” que tiene una superficie de 200 ha; en el que se establecieron doce líneas Canfield (Canfield, 1941) con una longitud de 20 m cada una; con una separación entre éstas de 150 m aproximadamente. Cada línea se georreferenció con la finalidad de establecer como permanente y dar seguimiento durante el año de estudio (Tabla 4).

Tabla 4. Coordenadas de líneas Canfield.

Línea	N	W	Altitud (msnm)
1	24° 10.366´	104° 21.227´	1907
	24° 10.366´	104° 21.216´	1909
2	24° 10.400´	104° 21.145´	1907
	24° 10.412´	104° 21.144´	1907
3	24° 10.400´	104° 21.092´	-
	24° 10.411´	104° 21.092´	1908
4	24° 10.410´	104° 21.048´	1902
	24° 10.405´	104° 21.037´	1904
5	24° 10.426´	104° 21.013´	1904
	24° 10.417´	104° 21.006´	1903
6	24° 10.428´	104° 20.791´	1917
	24° 10.439´	104° 20.796´	1912
7	24° 10.468´	104° 20.654´	1914
	24° 10.470´	104° 20.646´	1912
8	24° 10.326´	104° 21.199´	1901
	24° 10.315´	104° 21.194´	1901
9	24° 10.339´	104° 21.127´	1901
	24° 10.351´	104° 21.132´	1904
10	24° 10.348´	104° 21.068´	1905
	24° 10.338´	104° 21.067´	1903
11	24° 10.358´	104° 20.997´	1908
	24° 10.349´	104° 20.992´	1909
12	24° 10.305´	104° 20.803´	1911
	24° 10.293´	104° 20.805´	1908

Con la ayuda de una cinta métrica se registró a qué distancia se encontraban las especies desde el punto de inicio de la línea, establecido en la primera visita (Figura 4). Una vez registrado lo anterior, se tomó el crecimiento del macollo de las especies de interés *Bouteloua gracilis* y *Melinis repens*. El dato anterior sirvió para verificar el índice de consumo de los animales sobre las plantas.



Fuente: Pámanes. D.S. 2008.

Figura 4. Representación de la técnica de Intercepción Línea Canfield.

La forma en la que se realizó el trazo de las líneas fue considerando zonas de valles y lomeríos dentro del agostadero. Dicho aspecto se tomó en cuenta debido a que se cree que la altura influye en la cantidad de: humedad, corrientes de aire que ayudan en la dispersión de la semilla, radiación por efecto de la luz solar, entre otros que afectan la composición fisicoquímica tanto de especies como del suelo.

4.4 Técnicas para describir índices de vegetación

Con las líneas ya establecidas como se mencionó en el apartado anterior, se tomaron datos para realizar la descripción de la vegetación en el sitio. Dichos datos, se utilizaron para determinar: densidad, cobertura, frecuencia e índice de valor de importancia de las especies presentes, *B. gracilis* y *M. repens*, los cálculos se realizaron con base a la técnica citada por Pámanes (2008), como se muestra a continuación.

4.4.1 Densidad

Se define como número de plantas o partes específicas de la planta por unidad de área.

$$IDi = ni/L$$

Ecuación 1 Índice de densidad

Donde:

IDi= índice de densidad lineal

n=total de individuos de especie

i= cobitados

L=longitud total

4.4.2 Cobertura

Es la proyección vertical abajo de las porciones aéreas de la planta, expresada como por ciento de la cubierta, puede ser expresada como porcentaje de cobertura total y como porción basal de las plantas.

$$ICi = Li/L$$

Ecuación 2. Índice de cobertura

Donde:

ICi= Índice de cobertura.

Li= Suma de longitudes interceptadas

L= longitud total

4.4.3 Frecuencia

Se define como el número de muestras que contienen una especie determinada y el total del número de áreas muestreadas.

$$IFi = ji/K$$

Ecuación 3. Índice de frecuencia

Donde:

IFi: Índice de frecuencia

ji= numero de intervalos de la intercepción lineal

K= número total de intervalos sobre los transectos

4.4.4 Índice de Valor de Importancia

Se define como la suma de los índices para medir vegetación.

$$IVI= DR + FR+ CR$$

Ecuación 4. Índice de valor de importancia

Donde:

DR= densidad relativa

FR= frecuencia relativa

CR= cobertura relativa

4.5 Producción de forraje e Índice de consumo

La técnica que se utilizó fue la del metro cuadrado (m²) que consiste en tirar 1m² en el área de cada una de las líneas de muestreo. Toda la vegetación contenida dentro de éste cuadro se cortó al ras de suelo y se separó por especie en bolsas de papel. Esto se realizó en las dos épocas de muestreo para hacer el cálculo del índice de consumo, tomando como producción máxima época de lluvias y como mínima la de secas.

En laboratorio se pesaron las muestras frescas o recién cortadas y se registro dicho resultado. Después de ello, se dejó secar la vegetación a temperatura ambiente por un periodo de tres a cinco días y se volvió a pesar cada una de las muestras registrando dicho resultado.

Lo anterior sirvió para realizar una determinación de la materia seca que se produjo en ese perímetro. La fórmula que se siguió es la que se muestra a continuación:

$$PS= P_1-P_2$$

Ecuación 4. Peso seco

Donde:

PS= Peso seco

P₁= Peso de la muestra fresca.

P₂=Peso de la muestra seca.

4.5.1 Registro de hojas de especies de plantas

Del material recolectado para la determinación de la producción de forraje se determinó la cantidad de hojas por especie.

Para realizar análisis químicos de las especies de interés, se realizó la fragmentación de cada una de las especies a cada 10 cm para evaluar la composición nutrimental a cada segmento. Posteriormente se hizo el molido de las muestras con un molino con criba de 1 y 2 mm. Cabe mencionar que el molido se realizó en la Escuela de Veterinaria de la Universidad Juárez del Estado de Durango.

4.6 Análisis químico del forraje

Al material vegetal colectado se le realizaron los análisis químicos que a continuación se mencionan. Con el objetivo de definir cual o cuales fracciones nutritivas podrían influir en el consumo animal y el efecto en los compuestos del suelo. Cabe mencionar que se realizaron análisis a cada 10 cm de la planta de cada especie.

Los análisis químicos se realizaron durante época de secas y lluvias; pero la segmentación únicamente se hizo en lluvias y en secas se analizó material completo.

4.6.1 Proteína cruda

El término “proteína cruda” se refiere a que no todo el nitrógeno en el alimento se encuentra en forma de proteína. La técnica que se siguió fue el método Kjeldahl, citado por Rodríguez y Rodríguez (2002).

4.6.2 Extracto etéreo

La técnica que se empleó fue la citada por Tejada (1983). El extracto etéreo se refiere al conjunto de sustancias extraíbles que incluyen además de los esteres de los ácidos grasos con el glicerol, a los fosfolípidos, lecitinas, esteroides, ceras, ácidos grasos libres, carotenos, clorofilas y otros pigmentos.

4.6.3 Fibra detergente neutra (FDN) y ácida (FDA)

Se determinaron con base en el método propuesto por Van Soest (1970) citado por Tejada (1983). Dicho procedimiento, determina los componentes de la pared celular de la planta. En la determinación de FDN aparentemente divide la materia seca al punto que separa los constituyentes nutricionales solubles y accesibles, de aquellos que no son totalmente aprovechables o que dependen de fermentación microbiana para su aprovechamiento. Por otro lado FDA, evalúa de una forma muy rápida la cantidad de lignina- celulosa en los alimentos. La diferencia entre los valores de las paredes celulares y la FDA, da una estimación de la cantidad de Hemicelulosa.

4.6.4 Determinación de Macronutrientos

Se determinaron Ca, P, Mg, K, Na y P, mediante la técnica propuesta por Rodríguez y Rodríguez (2002) y la cantidad de muestra empleada fue de 0.5 g.

Para la determinación de Ca, Mg, K y Na, fue necesario realizar una digestión de las muestras por medio de la adición y evaporación de ácidos. Posteriormente las muestras fueron diluidas y finalmente se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica para realizar las lecturas correspondientes.

En el caso del fósforo (P) se hace exactamente el mismo procedimiento en la digestión solo que se leyó en un espectrofotómetro visible UV a una longitud de onda de 440 nm.

4.6.5 Determinación de Micronutrientos

Los micronutrientos que se determinaron son: Cu, Zn, Mn, Fe y Co. La técnica que se siguió fue la propuesta por Rodríguez y Rodríguez (2002). La cantidad de muestra fue de 0.5 g. El procedimiento de digestión y lectura es el mismo que se siguió para la determinación de los macro minerales y el equipo empleado es un Espectrofotómetro de absorción atómica.

4.6.6 Germinación de semilla

El objetivo de esta técnica es verificar la diferencia que existe en la germinación de las dos especies de interés; para determinar las causas de la invasión de la especie *Melinis repens* contra la nativa *Bouteloua gracilis* considerando las dos épocas de muestreo.

La metodología se realizó con base en la propuesta por Carrillo *et al.* (2009). Se emplearon cuatro lotes de 50 semillas de cada especie previamente pesadas. Después de ello fue necesario realizar la escarificación de las semillas por medio de lavados con etanol al 95 %, ácido sulfúrico al 2.6% y agua destilada. Las semillas fueron colocadas en cajas petri estériles con cama de algodón para retener la humedad. Las cajas antes mencionadas se metieron a una estufa a una temperatura de 27 °C por un periodo de 20 días como lo menciona Carrillo *et al.* (2009). Las semillas se regaron cada tercer día, registrando los cambios en la germinación de las mismas.

4.7 Análisis fisicoquímico de suelo

El muestreo del suelo se realizó en la época de secas, ya que de acuerdo con Castellanos *et al.* (2000) se recomienda que el muestreo se realice antes de la época de lluvias y con base al muestreo de vegetación. Es decir, en cada sitio en donde se midió 1m² de donde se tomaron las muestras de pasto, se tomó la muestra de suelo. Lo anterior se hizo para que la muestra fuera representativa del área y poder obtener la relación entre el contenido de nutrientes del suelo contra el crecimiento de la planta. La técnica seguida fue la propuesta por Rodríguez y Rodríguez (2002) que propone que las muestras sean tomadas a los primeros 10 cm de profundidad, debido a que a esta distancia en pastizales naturales, se encuentran los nutrimentos relacionados con el crecimiento de la planta.

Una vez que se tuvieron las muestras en laboratorio se dejaron secar a temperatura ambiente por un periodo de 5 a 7 días. Posteriormente, se realizó el tamizado de la muestra para llevar a cabo los análisis correspondientes que a continuación se presentan.

4.7.1 Potencial de hidrogeno

Este análisis se determinó con base en la técnica electrométrica propuesta por Rodríguez y Rodríguez (2002). En el cual se emplea un electrodo que es sensible a la actividad de los iones hidrógeno. El pH en suelos es uno de los parámetros fundamentales para la absorción de nutrientes por las plantas.

4.7.2 Humedad

El método que se siguió es el Gravimétrico propuesto por Rodríguez y Rodríguez (2002). Según los autores el contenido de agua del suelo se expresa como la diferencia de pesos de la muestra fresca y el peso final de la muestra después del secado hasta conseguir un peso constante.

4.7.3 Textura

El método que se siguió fue el de sedimentación propuesto por Rodríguez y Rodríguez (2002). Se basa en la velocidad en la que caen las partículas en un fluido.

4.7.4 Determinación de Macronutrientos

En este trabajo de investigación la técnica que se siguió fue la propuesta por Rodríguez y Rodríguez (2002).

Para la determinación de P, Ca, Mg, K y Na, fue necesario realizar una digestión de las muestras por medio de la adición y evaporación de ácidos. Posteriormente las muestras fueron diluidas y finalmente se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica. La cantidad de muestra que se empleó fue de 0.2 g.

En el caso del fósforo (P) se hace exactamente el mismo procedimiento en la digestión solo que la lectura se realizó en un espectrofotómetro visible UV.

4.7.5 Determinación de Micronutrientos

Los micronutrientos que se determinaron en este trabajo son: Cu, Zn, Mn, Fe, Co. La técnica que se siguió fue la propuesta por Rodríguez y Rodríguez (2002). La

cantidad de muestra fue de 0.2 g y el procedimiento de digestión y lectura es el mismo que se siguió para la determinación de los macronutrientes y el equipo empleado es un Espectrofotómetro de absorción atómica.

4.7.6 Determinación de carbono orgánico y materia orgánica en el suelo

La determinación de materia orgánica y carbono se realizó por el método de ignición de acuerdo a Zhu, *et al*, (2004).

4.8 Análisis estadístico

El análisis de los resultados se realizó mediante un ANOVA. Además se realizó una comparación entre las medias para determinar las diferencias entre los tratamientos a través de la prueba Student-Newman-Keuls (S-N-K) con un nivel de significancia del 5%.

4.8.1 Análisis de correlación simple

Se realizó con el fin de establecer la relación que existe entre las variables y medir el grado de asociación entre ellas.

4.8.2 Análisis de correlación canónica

De acuerdo con Hernández (1998), dicho análisis es una extensión natural del análisis de correlación simple, motivada por la necesidad de estudiar fenómenos que no pueden representarse por una sola variable; sino por un conjunto de variables. En este caso variables medidas en suelo, forraje e índice de consumo. La correlación simple y múltiple se puede ver como caso especial del análisis canónico.

Por este motivo se realizó primero la correlación simple; y en las variables que se presentará dicha asociación -ya sea positiva o negativa- se sometió al análisis canónico para ver el grado de correlación en porcentaje.

Los paquetes empleados fueron: el STATISTICA versión 7 y el COSTAT.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Caracterización botánica del sitio y técnicas para describir vegetación

El muestreo florístico realizado en 2008 a 2009 evidenció la presencia de 27 especies (Tabla 5). El análisis de las líneas Canfield, señala a *Melinis repens* y *Heteropogon contortus* como las gramíneas de mayor abundancia ($p < 0,01$), siendo esta última especie menos frecuente; pero con mayor cobertura que *M. repens* (Tabla 6), este comportamiento permite clasificar la asociación del pastizal como *Heteropogon-Melinis*.

Posteriormente los datos de vegetación nos muestran la importancia que ha ido cobrando *M. repens* en el agostaderos como especie invasora (Figura 5), ya que COTECOCA (1979) estableció la asociación de estos pastizales como *Bouteloua-Botriochloa*, y los resultados de éste estudio concluye con una nueva asociación *Heteropogon-Melinis*. Como se puede observar en la Tabla 6 el desplazamiento del género *Bouteloua* es inminente. Por esta razón se han perdido espacios que han sido ocupados por otras especies como *M. repens* y *Heteropogon contortus*.



Figura 5. Desplazamiento de *Bouteloua gracilis* por *Melinis repens* en el sitio.

Tabla 5. Inventario florístico del rancho El Zagal en 2008-2009.

Nombre común	Nombre científico
Navajita	<i>Bouteloua gracilis</i>
Navajita púrpura	<i>Bouteloua radicola</i>
Banderita	<i>Bouteloua curtipendula</i>
Zacate tres barbas	<i>Aristida divaricata</i>
Zacate guía	<i>Panicum obtusum</i>
Pata de gallo	<i>Chloris submutica</i>
Abrojo	<i>Cenchrus myosuroides</i>
Zacate mota	<i>Chloris virgata</i>
Popotillo plateado	<i>Bothriochloa barbunoides</i>
Zacate azucarado	<i>Bothriochloa sacchariodes</i>
Liendrilla	<i>Muhlenbergia rigida</i>
Liendrilla	<i>Muhlenbergia emersleyi</i>
Agujilla grande	<i>Stipa eminens</i>
Pajita cerdosa	<i>Setaria parviflora</i>
Barba negra	<i>Heteropogon contortus</i>
Volador	<i>Aristida pansa</i>
Zacate lanudo	<i>Elionurus barbiculmis</i>
Navajita simple	<i>Bouteloua simplex</i>
Zacate rosado	<i>Melinis repens</i>
Barba larga	<i>Trachypogon spicatus</i>
Pajita tempranera	<i>Setaria macrostachya</i>
Barba negra anual	<i>Heteropogon melanocarpus</i>
Amor seco intermedio	<i>Eragrostis intermedia</i>
Liendrilla fina	<i>Muhlenbergia minutissima</i>
Zacate pajón	<i>Pennisetum villosum</i>
Zacate araña	<i>Aristida ternipes</i>
Zacate de agua	<i>Eriochloa acuminata</i>

FR=frecuencia relativa, DR=densidad relativa, DOR= dominancia relativa, IVI=índice de valor de importancia.

Tabla 6. Promedio de la frecuencia, densidad, dominancia y cobertura e índices de valor de importancia y perfil fisonómico del pastizal obtenidos

Especie	FR	DR	DOR	IVI
<i>Aristida adscensionis</i>	1.49	1.73	0.91	4.13
<i>Aristida divaricata</i>	0.50	0.14	0.41	1.05
<i>Aristida pansa</i>	1.00	0.43	0.60	2.03
<i>Bothriochloa barbinodis</i>	7.96	5.77	6.79	20.52
<i>Bouteloua curtipendula</i>	10.45	7.36	9.13	26.94
<i>Bouteloua gracilis</i>	7.96	2.74	2.11	12.82
<i>Bouteloua repens</i>	0.50	0.14	0.46	1.11
<i>Buteloua radicata</i>	3.48	1.01	1.23	5.73
<i>Chloris virgata</i>	10.45	18.90	16.66	46.01
<i>Cynodon dactylon</i>	0.50	0.43	0.49	1.42
<i>Elionurus barbiculmis</i>	0.50	0.29	1.70	2.48
<i>Eragrostis intermedia</i>	1.99	3.03	2.12	7.14
<i>Eriochloa acuminata</i>	2.99	4.04	3.75	10.77
<i>Heteropogon contortus</i>	14.93	20.35	19.22	54.50
<i>Melinis repens</i>	15.42	19.77	19.06	54.25
<i>Muhlenbergia minutísima</i>	10.45	10.25	12.06	32.75
<i>Muhlenbergia dubia</i>	1.49	0.58	0.61	2.68
<i>Muhlenbergia emersleyi</i>	0.50	0.14	0.14	0.78
<i>Panicum obtusum</i>	0.50	0.14	0.08	0.73
<i>Setaria grisebachii</i>	2.49	1.44	0.87	4.80
<i>Setaria macrostachya</i>	0.50	0.14	0.12	0.76
<i>Setaria parviflora</i>	1.99	0.58	0.47	3.04
<i>Trachypogon spicatus</i>	0.50	0.14	0.91	1.55

En la tabla 7 se presentan los datos referentes a los índices de vegetación de las especies de interés en el presente estudio; donde se observa el incremento de densidad, frecuencia y cobertura de la especie *M. repens* con respecto a *B. gracilis* a través de las doce líneas de muestreo. Se observa que en la línea 7 *M. repens* tiene mayor dominancia, cobertura y frecuencia que se relaciona con el IC más bajo de

2.63%. Mientras que *B. gracilis* se encuentra muy por debajo de los índices de vegetación que muestra la especie invasora.

Tabla 7. Índices de vegetación a través de las líneas de muestreo.

Línea	Especie	%D	IFi	%C
L1	B G	0.05	0.5	7.6
	M R	0.05	0.75	0.65
L2	B G	0	0	0
	M R	0	0	0
L3	B G	0	0	0
	M R	1.2	0.75	19.8
L4	B G	0	0	0
	M R	0.05	0.25	0.4
L5	B G	0.15	0.75	1.15
	M R	0.45	1	4.45
L6	B G	0.05	0.25	1.8
	M R	0.55	0.75	6.9
L7	B G	0.1	0.25	1.3
	M R	1.35	1	22.95
L8	B G	0.05	0.25	0.85
	M R	0.15	0.25	1.4
L9	B G	0.25	0.75	2.55
	M R	1.1	1	16.15
L10	B G	0.05	0.25	0.7
	M R	0.05	0.25	0.65
L11	B G	0.05	0.25	0.45
	M R	0.7	0.75	5.56
L12	B G	0.15	0.75	1.65
	M R	0.55	1	11.95

Donde:

M R= *Melinis repens*, B G= *Bouteloua gracilis*, IFi=Índice de frecuencia, %D= densidad y %C= cobertura

5.2 Índice de consumo y producción de forraje

La productividad e índice de consumo por línea se presenta en la Tabla 8. El área de estudio tiene una producción de forraje promedio de 3948.01 kg/Ha y el forraje residual de 1619.25 kg/Ha; a lo que corresponde un índice de consumo de 55.86%. *Bouteloua gracilis* tiene una productividad del 8.68%; mientras que el 28.78% es para *Melinis repens*, con un área ocupada de 4.09 y 8.21% respectivamente.

El índice de consumo de éstas especies es: el 100% para el caso de *B. gracilis* y 3.5% para *M. repens*. Con este resultado se puede observar que la especie invasora es palatable para el ganado por lo que muestra un IC bajo.

Tabla 8. Índice de consumo y producción de gramíneas.

Línea	Época de lluvias Producción (kg/ Ha)	Época de secas Producción (kg/ Ha)	Índice de consumo (%)
L1	5924	0	100.000
L2	6240	0	100.000
L3	6236	4041	35.190
L4	4142	0	100.000
L5	3640	271	92.550
L6	3763.2	4896	0.000
L7	3941	3837	2.630
L8	1839	818	55.998
L9	3250.6	912	71.944
L10	1176	1021	13.190
L11	3710.4	1545	58.360
L12	3514	2090	40.520
Promedio	3948.01	1619..25	55.86

En la figura 7 se presenta la fluctuación del índice de consumo en el agostadero a través de las doce líneas Canfield. Según Ibarra *et al.* (2002), la distribución del ganado es mayor en las áreas cercanas a los aguajes, saladeros, suplementadores y áreas fácilmente accesibles. El índice de consumo decrece conforme aumenta la

distancia del abrevadero. Como se puede observar, estas generalidades coinciden con los resultados obtenidos en cálculo del IC (Figura 6).

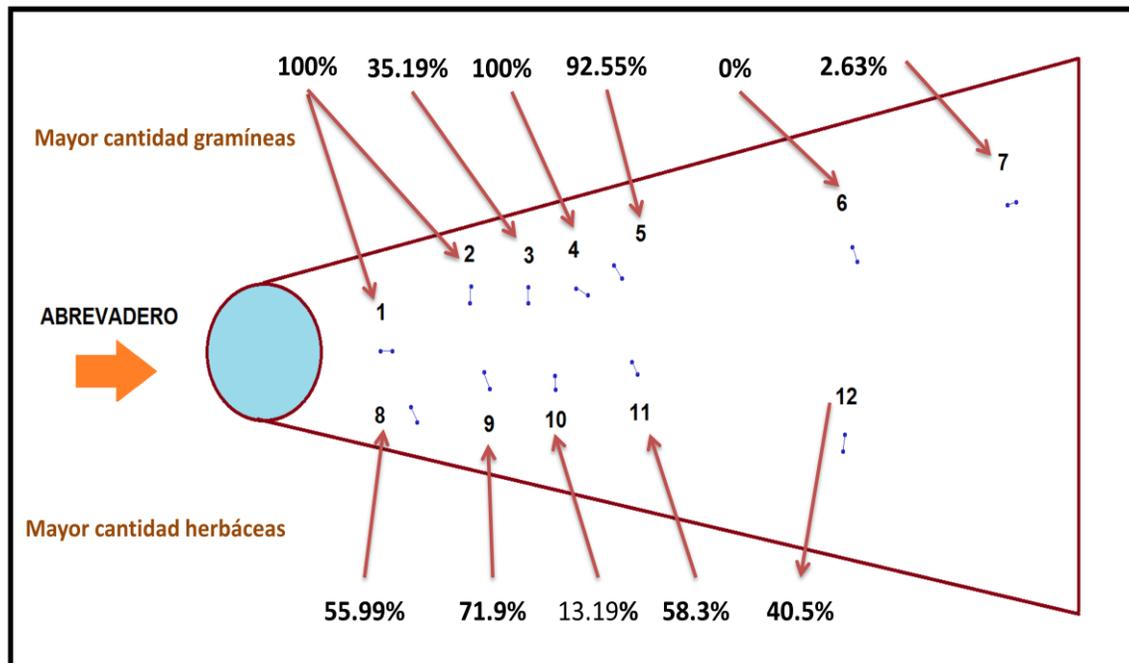


Figura 6. Índice de consumo en líneas de muestreo.

Considerando que los animales se encuentran la mayor parte del tiempo en zonas de aguaje, se esperaría que el índice de consumo tuviera un comportamiento bien definido. Mientras más alejado del aguaje, menor índice de consumo tomando en cuenta la dinámica del pastoreo del ganado. Cabe mencionar, que al evaluar los pastizales es necesario hacer un análisis íntegro que incluya el manejo animal, la influencia de las condiciones climáticas, edáficas y las relaciones suelo-planta (Quiñonez *et al.* 2004). Además se debe incluir la proporción de especies con mayor o menor palatabilidad, como se observa en los casos de las líneas 6, 11 y 12 donde la producción de *M. Repens* fue mayor (540, 104 y 244 g/m²) y el consumo fue menor. Este fenómeno se repite al relacionar los índices de cobertura con el índice de consumo, donde la mayor presencia de la especie invasora *M. repens* reduce el consumo, ya que esta especie es menos palatable que *B. gracilis*, lo que presenta un índice de consumo de 3.5% contra 100% respectivamente.

Dentro de las condiciones edáficas antes mencionadas, se encontró que la variable que tuvo una influencia importante sobre el IC fue la altitud (Tabla 9); donde el análisis de correlación mostró una relación de 54.92% entre la altitud y el IC; observándose que en las partes planas y con diferencias altitudinales de hasta 4 metros se obtienen consumos del 71 al 100%, de 5 a 7 metros el índice es de 35 a 58% y alturas mayores a 10 metros el consumo es cero. Es decir, en las planicies hay mayor IC mientras que en lomas o partes más altas disminuye el consumo. Por ello en la línea seis y siete donde la altitud es mayor, se presentan los menores índices de consumo de forraje.

Tabla 9. Altitud e índice de consumo en líneas Canfield.

Línea	Altitud (msnm)	% IC
L1	1901	100.000
L2	1901	100.000
L3	1908	35.190
L4	1904	100.000
L5	1903	92.550
L6	1917	0.000
L7	1912	2.630
L8	1901	55.998
L9	1904	71.944
L10	1905	13.190
L11	1909	58.360
L12	1908	40.520

5.2.1 Cantidad de hoja

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en la cantidad de hojas de las especies y la prueba de medias reveló que la mayor cantidad de hojas la tiene *M. repens*. De acuerdo con Royo *et al.* (2008), menciona que en un estudio realizado

por Melgoza *et al.* (1989) se encontró que *Bouteloua gracilis* presentó la máxima producción de tallos en octubre. Comparando ambas especies, bajo el sistema de pastoreo continuo, es de esperarse el comportamiento debido al índice de consumo de cada especie, ya que el *B. gracilis* es más palatable y de mayor repastoreo, lo que ocasiona la presencia de un menor número de hojas (Ávila, *et al.*, 2008) y mayor número de tallos, reduciendo el área foliar dejando espacios que pueden ser aprovechados por *M. repens*

5.3 Análisis químico del forraje

En la Tabla 10 se muestran los resultados del análisis nutrimental por segmento en la época de lluvias.

Tabla 10. Resultados de análisis nutrimental de las especies de interés.

Seg	Especie	%PC	%FDN	%FDA	%CEL	%LIG	%SDA	%EE
10 cm	B G	2.67 ^a	69.9 ^{cd}	54.45 ^{cd}	33.35 ^{abc}	20.8 ^{ab}	45.55 ^{bc}	2.5 ^b
	M R	2.67 ^a	67.3 ^{cd}	57.3 ^{cd}	30.5 ^{abc}	26.1 ^{ab}	42.7 ^{bc}	2 ^b
20 cm	B G	2.227 ^a	67.45 ^d	55.55 ^{bcd}	30.5 ^c	24.7 ^{ab}	44.45 ^{bcd}	2.77 ^b
	M R	2.67 ^a	66.3 ^d	59.4 ^{bcd}	29.8 ^c	28.9 ^{ab}	40.6 ^{bcd}	0.79 ^b
30 cm	B G	2.67 ^a	73.8 ^b	62.85 ^b	29.3 ^{bc}	33.2 ^a	37.15 ^d	1.94 ^b
	M R	2.67 ^a	69 ^b	57.5 ^b	32.1 ^{bc}	25 ^a	42.45 ^d	0.55 ^b
40 cm	B G	2.67 ^a	71.95 ^{bc}	57.2 ^d	35.05 ^{abc}	21.75 ^b	42.8 ^b	1.35 ^b
	M R	2.227 ^a	68.8 ^{bc}	51.7 ^d	33.45 ^{abc}	18.1 ^b	48.25 ^b	1.23 ^b
50 cm	B G	2.67 ^a	67.85 ^d	51.45 ^e	30.35 ^{abc}	20.7 ^b	48.55 ^a	1.43 ^b
	M R	3.57 ^a	67.35 ^d	52.15 ^e	32.45 ^{abc}	19.5 ^b	47.85 ^a	3 ^b
60 cm	B G	2.22 ^a	65.45 ^d	59.95 ^{bc}	31.95 ^{ab}	27.7 ^{ab}	40.05 ^{cd}	3.82 ^a
	M R	3.12 ^a	67.8 ^d	57.85 ^{bc}	39.5 ^{ab}	18.05 ^{ab}	42.2 ^{cd}	3.21 ^a
70 cm	B G	3.12 ^a	74.3 ^a	58.9 ^a	33 ^{abc}	25.5 ^{ab}	41.1 ^e	4.59 ^a
	M R	2.67 ^a	81 ^a	66.85 ^a	37.25 ^{abc}	29.15 ^{ab}	33.15 ^e	2.88 ^a
Flor	B G	3.57 ^a	77.8 ^a	60.8 ^{bc}	30.9 ^a	29.1 ^b	39.6 ^{cd}	2.18 ^a
	M R	2.67 ^a	77.3 ^a	56.1 ^{bc}	41.5 ^a	14.3 ^b	43.8 ^{cd}	4.81 ^a

Donde:

Seg= segmento, M R= *Melinis repens*, B G= *Bouteloua gracilis*, %P C=proteína cruda, %FDN=fibra detergente neutral, %FDA=fibra detergente acida, %CEL=celulosa, %CDA=cenizas detergentes ácidas, %LIG=lignina detergente ácida, %SDA=solubles detergentes ácidas, % EE= extracto etéreo. Las literales son los rangos de diferencias significativas

A continuación se presentan las diferentes interpretaciones, resultado del análisis estadístico aplicado a las variables medidas.

5.3.1 Proteína

En proteína cruda hay diferencias significativas entre especies pero no entre segmentos. Lyons *et al.* (1996) mencionan que generalmente las hojas tienen más contenido celular y por lo tanto más proteínas, azúcares, vitaminas y minerales que

los tallos. También afirma que las inflorescencias tienen mayor contenido celular que las hojas. La diferencia de proteína entre *B. gracilis* y *M. repens* vario en la porción de inflorescencia en 0.9 unidades porcentuales, siendo superior para la primera.

El análisis de proteína cruda muestra diferencias significativas ($P < 0.05$) entre líneas, especies y épocas de colecta. Se observó que en la línea que muestra un índice de consumo elevado hay mayor concentración de PC; mientras que en las líneas más alejadas al aguaje donde el IC es menor la PC disminuye. Este comportamiento se puede deber a que en donde el índice de consumo aumenta hay mayor repastoreo y por ende rebrotes tiernos que contienen más proteína y carbohidratos hidrosolubles (Granados *et al.* 1983). En la época de secas, *B. gracilis* presenta un 3.2% de PC contra 2.7 de *M. repens*.

Los análisis de correlación simple y correlación canónica muestran una relación de 0.71 y 51% respectivamente entre el contenido de PC del forraje y el índice de consumo (ANEXO III y IV). Según Araujo-Febres (2005) menciona que el consumo de forraje por parte del ganado, se ve influenciado por la cantidad de proteína que contenga el alimento. Dicho consumo se ve disminuido con dietas de baja concentración proteica; razón por la cual los animales sobrepastorean a la especie con mayor concentración de proteína, como sucede en el caso del *B. gracilis* quien presenta una mayor contenido de proteína en ambas épocas.

5.3.2 Extracto etéreo

De acuerdo con el análisis estadístico no se presentan diferencias significativas entre especies, pero entre segmentos existen diferencias. La prueba de medias expone que a 70 cm se encuentra la mayor cantidad de extracto. Además, existen diferencias significativas entre líneas dando como resultado en la prueba de medias que la mayor concentración se dio en la línea cuatro; en donde se concentra la mayor parte del tiempo el ganado con un IC de 100% y la menor concentración en la línea doce en donde el IC es de 40.55%.

De forma general, el índice de consumo está influenciado principalmente por el contenido de proteína y fibra detergente neutra, puesto que en extracto etéreo no existieron diferencias entre especies.

5.3.3 Fibras detergentes acidas y neutras

Se observó que no existen diferencias entre especies, pero si entre épocas y entre segmentos en ambas especies ($P < 0.05$). El mayor contenido se encuentra en los segmentos con mayor contenido de tallos (Lyons *et al.* 2001). En cuanto a la prueba de medias se encontró que la mayor concentración se encuentra a los 70 cm de la planta donde el contenido de tallos es mayor en ambas especies estudiadas. Este resultado coincide con lo que exponen Ávila *et al.* (2008) y Lyons *et al.* (1996), que afirman que los tallos tienen una mayor concentración de fibra detergente neutro que las hojas.

El contenido de fibras se incrementa conforme la planta madura, por ello en la época de lluvias se tiene una menor concentración que en la época de secas. Conforme las plantas se aproximan a la dormancia o madurez, los nutrientes son redistribuidos de las hojas (donde se procesan los alimentos por medio de la fotosíntesis) a las raíces, reduciéndose el contenido celular presente dentro de cada célula de las hojas. Este movimiento incrementa el porcentaje de pared celular en las hojas, aunque la cantidad no aumente. Finalmente, esta redistribución disminuye los nutrientes disponibles para los herbívoros (Lyons *et al.* 2001).

Los datos de fibra detergente neutra obtenidos en este estudio muestran correlación (0.91) con el índice de consumo y la topografía (altitud) del terreno (0.96). El índice de consumo es mayor en las planicies lo que coincide con un menor contenido de FDN por lo que se menciona en el párrafo anterior (Lyons *et al.* 2001); sin embargo, se presentó un mayor contenido de proteína cruda independientemente con la cercanía a la fuente de agua; factor que incrementa indudablemente el índice de consumo en estas áreas.

El obtener, al momento de muestreo, un mayor contenido de proteína cruda y una menor concentración de fibra detergente neutro en las plantas de las zonas con menor altitud se debe probablemente a la menor exposición a los vientos y a la mayor cantidad de humedad presente en suelo que condicionan que la maduración de la planta sea más tardía que en las zonas más altas. Podría ser una excepción el encontrar concentraciones mayores o igual de fibra detergente neutro en la vegetación de las zonas bajas cuando el índice de consumo es casi o igual al 100% debido a que se pierde humedad del suelo por la falta de protección de la vegetación.

5.3.4 Macro y micro nutrientes en forraje

A continuación (Tablas 11 y 12) se muestran los resultados del análisis de macro y micro nutrientes en el forraje del muestreo correspondiente a época de lluvias. Además se exponen los resultados del análisis estadístico ANOVA y prueba de medias descrita en el apartado de metodología.

Tabla 11. Resultados de concentración de macronutrientos en especies en época de lluvias (% y ppm).

Especie	K	Ca	Mg	Na	*ppm P
<i>Melinis repens</i>	2.52 ^a	0.2897 ^a	0.139 ^a	0.0088 ^a	0.043 ^a
<i>Bouteloua gracilis</i>	3.41 ^a	0.3278 ^a	0.1528 ^a	0.0116 ^a	0.00015 ^b

*ppm P= se incluyo en la tabla con unidades de ppm debido a que la cantidad es muy pequeña para incluirla en porcentaje. Las literales son los rangos de diferencias significativas arrojados por la prueba de medias.

Tabla 12. Resultados de concentración micro nutrientes en especies en época de lluvias (ppm).

Especie	Fe	Mn	Zn	Co
<i>Melinis repens</i>	41.1 ^b	27.6 ^b	27.73 ^a	0.091 ^a
<i>Bouteloua gracilis</i>	2759.8 ^a	57.8 ^a	64.44 ^a	0.132 ^a

Las literales son los rangos de diferencias significativas arrojados por la prueba de medias.

De acuerdo con el análisis estadístico aplicado a los resultados anteriores, en K, Ca, Mg, Mn, Co y Na no hay diferencia entre especies ($P < 0.05$). De acuerdo al índice de consumo que presentan las especies antes mencionadas se puede inferir que el P no es un factor que pueda considerarse como determinante para establecerlo como promotor o inhibidor del consumo de una especie en particular, aun cuando Mejía (2002) asegure que el fósforo es un elemento que determina el consumo en rumiantes. Los resultados obtenidos muestran que las concentraciones de P en las dos especies fueron deficientes para la nutrición de los rumiantes y no así el resto de los macro y micronutrientes analizados.

5.3.4.1 Hierro

La concentración de Fe en el suelo muestra diferencias altamente significativas ($P < 0.05$) entre especies. La prueba de medias mostró que la especie nativa *Bouteloua gracilis* es la que tiene una mayor concentración del mineral.

Según Ramírez (2008), en el rumiante, más del 90% del Fe que existe en el organismo, está combinado con las proteínas, sobre todo con la hemoglobina. Por lo tanto es de suma importancia consumir este mineral a través de la dieta para que no se produzcan deficiencias. Además de ello dicho mineral se encuentra en el plasma sanguíneo unido a la proteína transferrina, la cual transporta Fe en el organismo. Además de lo anterior también forma parte de muchas enzimas, incluidas los citocromos y las flavoproteínas.

5.3.4.2 Zinc

El contenido en Zn del suelo presenta diferencias significativas ($P < 0.05$). Entre especies. *Bouteloua gracilis* presentó mayor contenido en dicho mineral. De acuerdo con Ramírez (2008), es un componente integral de varias enzimas como lactato, malato y glutamato dehidrogenasas, fosfatasa alcalina, carboxipeptidasas A y B y la carbónico anhidrasa. Un dato elemental por el cual el animal prefiere este mineral, es que es componente del RNA y DNA polimerasas, que interviene en la síntesis de proteína. A su vez, las enzimas que contienen Zn participan en procesos primarios

del metabolismo proteico y división celular. El ganado consume dicho mineral ya que las deficiencias en el organismo son: retraso en crecimiento, menor consumo de alimentos, menor rendimiento en reproducción y retraso en cicatrización de heridas.

En resumen, los micronutrientes que mostraron diferencias entre especies fueron el hierro y el Zinc. Resultando que la especie nativa presenta mayor cantidad de Fe y Zn que la invasora.

5.3.4.3 Germinación de semilla

Este análisis se realizó en dos épocas de muestreo, lluvias y secas. En la Tabla 13 se presentan los resultados de la germinación en dichas épocas en las dos especies.

Tabla 13. Germinación de semillas de las especies.

Época	% Germinación <i>Melinis repens</i>	% Germinación <i>Bouteloua gracilis</i>
Secas	11 ^a	12.5 ^a
Lluvias	8.5 ^a	12 ^a

A los resultados antes expuestos se les realizó análisis estadístico ANOVA completamente al azar y prueba de medias, para verificar si existen diferencias significativas entre épocas y especies. Dicho análisis arrojó que no existen diferencias significativas entre especies y épocas de germinación.

Es bien sabido que gran parte de las especies nativas en México y en el mundo han sido ya desplazadas por zacates invasores como *Melinis repens*. Cabe destacar que una de las ventajas características de esta especie es la forma de propagación, que se le facilita gracias a las características que tiene la semilla. La forma en la que se propaga es formando bancos de semillas como se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Banco de semillas de *Melinis repens*.

Una vez que la especie forma dicho banco, por la característica ligera que tienen las semillas, éstas vuelan o se volatilizan a través del pastizal. Aunque el suelo en el que éstas caigan sea muy escueto, dichas semillas tienen éxito. Puesto que por las características y necesidades tienen facilidad de adaptación. Como se muestra en la Figura 8 es fácil para dicha semilla germinar en suelos escuetos y con estrés de humedad.



Figura 8. Crecimiento de *M. repens* sobre la roca.

5.4 Análisis fisicoquímico de suelo

5.4.1 Potencial de hidrogeno

Desde el punto de vista de la nutrición vegetal es importante medir pH en el suelo puesto que cuantifica la actividad de los iones H^+ . Este factor representa un indicador para medir el nivel de productividad en el suelo.

En la Tabla 14 se encuentran los niveles de pH encontrados. Los suelos analizados son de tipo ácido. Las líneas uno a la once son moderadamente ácidos y la doce es medianamente ácida. La acidez en suelo es provocada por varias causas, una de ellas es la descomposición de la materia orgánica lo que provoca los niveles de pH que se presentan en éste estudio. El pH obtenido en el análisis realizado es el óptimo para el desarrollo de pastizales (5.5 a 6.5), ya que en estos niveles en donde se da la mejor absorción de los macro y micronutrientes en la planta (Instituto de la Potasa y el Fosfato, 1997).

Tabla 14. Resultados de pH en suelo.

Línea	pH
L1	6.25
L2	6.62
L3	6.41
L4	6.62
L6	6.49
L8	6.47
L9	6.14
L10	6.6
L11	6.27
L12	5.71

5.4.2 Humedad

La humedad es un factor importante pues cada especie tiene una respuesta diferente respecto a los porcentajes de agua disponibles en el suelo, como es el caso de *B*.

gracilis y *M. repens*; las cuales requieren como mínimo de 25% y 15%, respectivamente. Todo lo anterior para poder cumplir su ciclo de crecimiento. Por lo tanto se puede ver claramente la ventaja que presenta la especie invasora contra la nativa; puesto que *M. repens* es capaz de germinar aún con un porcentaje de humedad bajo (Lloyd, 1978).

En la Tabla 15 se muestran los resultados de las mediciones por línea correspondientes al contenido de humedad; como se puede observar la humedad residual presenta una media de 20.63% con una máxima de 27.14% y una mínima de 14.12%.

Tabla 15. Resultados humedad en suelo.

Línea	% Humedad
L1	20.81
L2	27.14
L3	20.34
L4	21.57
L6	22.91
L8	20.49
L9	16.97
L10	20.38
L11	14.12
L12	21.58

La presencia de follaje verde se debe a la humedad residual en el suelo y puede hacer que la mayoría de los pastos no entren en latencia al cien por ciento, pudiendo conservar del 5 al 15% de follaje verde. Cuando la lluvia ha tenido una buena distribución, los zacates *B. gracilis* y *B. curtipendula* pueden conservar hasta el 30% de follaje verde en época invernal (Royo *et al.*, 2008).

El incremento de *M. repens* se debe a que la planta es poco palatable, con mayor resistencia al pastoreo, mayor eficiencia de uso del agua (Quero, 2007), rebrota y asemilla dos veces al año, por lo que incrementa el área foliar y número de plantas. *Melinis repens* es una especie forastera e indeseable y ecológicamente más exitosa que las especies nativas.

5.4.3 Textura

Es importante considerarla debido a que indica la cantidad de partículas individuales de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. Como se sabe el suelo es la estructura que soporta y provee de elementos para que se realice la fotosíntesis de la planta y la textura del suelo influye en la cantidad de agua y aire que la planta puede retener de ahí su importancia (Castellanos *et al.* 2000). En la Tabla 16 se muestran los diferentes tipos de textura encontrados en el suelo analizado en el presente trabajo. Como se puede observar se presentan tres clases de suelos: arcilloso, arcillosos-limoso y franco- limoso.

Tabla 16. Tipos de textura en suelo.

Muestra	Tipo de suelo
L1	Arcilloso
L2	Arcilloso
L3	Arcilloso
L4	Arcillo- limoso
L6	Arcilloso
L8	Franco-limoso
L9	Arcilloso
L10	Arcilloso
L11	Franco-limoso
L12	Franco-limoso

L= línea Canfield

De acuerdo con los resultados (Tabla 16), se puede observar que son suelos que en común está presente la arcilla y de acuerdo con Castellanos *et al.* (2000) son suelos de textura fina y media los cuales presentan algunas características como mayor retención de agua y cantidad de nutrimentos; sin embargo cuando están secos son suelos muy duros y presentan una elevada proporción de poros finos. La situación anterior es una desventaja, ya que en los espacios donde el ganado permanece la mayor parte del tiempo (áreas de descanso) se presenta una compactación del suelo, dificultando la recuperación del pastizal nativo.

El análisis de correlación simple y canónica de las variables del suelo vs cobertura vegetal, no muestra relación; por lo que se puede deducir que las texturas del suelo del área de estudio son independientes para el establecimiento y crecimiento de las especies seleccionadas en esta investigación. Por lo que la expansión de *M. repens* se debió, probablemente, a los espacios vacíos de terreno. Lo anterior podemos observarlo en la figura 8 en donde se muestra a *M. repens* creciendo en la roca con una mínima de cantidad de suelo, lo que representa una ventaja sobre la nativa.

En resumen, de acuerdo a los resultados de los análisis físicos del suelo antes mencionados, podemos decir que, en general, existen condiciones adecuadas para el desarrollo de *B. gracilis* y *M. repens* ya que presenta suelos de textura media y fina los cuales la literatura menciona que son los que mayor humedad retienen; además, el pH es el óptimo para que en la mayoría de las plantas se tenga una adecuada absorción de los macro y micronutrientes requeridos para su desarrollo.

5.4.4 Análisis de Macro nutrimentos en suelo

En la Tabla 17 se muestran los resultados de la prueba de medias realizada con datos del análisis químico de macronutrientes en suelo. Lo anterior para observar los posibles cambios en la distribución de los puntos de muestreo en la concentración de dichos elementos y además verificar si el índice de consumo afecta la concentración de éstos.

Tabla 17. Resultados de concentración de macronutrientos en el suelo (%).

Línea	P	K	Ca	Mg
L1	0.185 ^{ab}	0.2850 ^{ab}	0.7223 ^c	0.2093 ^{ab}
L2	0.172 ^{ab}	0.3313 ^a	0.4125 ^{cd}	0.2304 ^{ab}
L3	0.186 ^{ab}	0.255 ^{abc}	0.0817 ^d	0.2261 ^{ab}
L4	0.16 ^b	0.2110 ^{abc}	1.406 ^b	0.1121 ^b
L6	0.166 ^{ab}	0.1236 ^c	0.1363 ^d	0.1107 ^b
L8	0.172 ^{ab}	0.2738 ^{ab}	1.8122 ^a	0.1231 ^b
L 9	0.19 ^{ab}	0.2261 ^{abc}	0.4759 ^{cd}	0.3114 ^a
L 10	0.194 ^a	0.1657 ^{bc}	0.5973 ^{cd}	0.0771 ^b
L 11	0.19 ^{ab}	0.2220 ^{abc}	0.7599 ^c	0.1255 ^b
L 12	0.188 ^{ab}	0.1668 ^{bc}	0.1313 ^d	0.1813 ^{ab}

Las literales son los rangos de diferencias significativas arrojados por la prueba de medias.

5.4.4.1 Fósforo

El análisis estadístico muestra que hay diferencias significativas ($P < 0.05$) en el contenido de fósforo entre líneas. La prueba de medias muestra que el valor máximo se encuentra en la línea diez y el mínimo en la cuatro. Este comportamiento se puede deber a la producción de forraje.

Según la correlación canónica (ANEXO I y II) hay asociación entre el contenido de humedad y el P en el suelo. El incrementar la humedad del suelo a niveles óptimos provoca que el P sea más disponible para las plantas y un exceso de humedad reduce el movimiento del oxígeno, lo que limita el crecimiento de raíces y la absorción del P (Instituto de la Potasa y el Fosfato, 1997).

La disponibilidad de dicho mineral está relacionada con la compactación que causa el pisoteo de los animales. La compactación del suelo tiene como consecuencia la disminución en la aireación y por lo tanto el espacio poroso del suelo se relaciona con la zona radicular de la planta. Lo anterior reduce la absorción de P, debido a la baja disponibilidad del mineral en el suelo para la planta; además reduce el volumen

del suelo al cual penetran las raíces de la planta. Hay que recordar que en las líneas 1, 2, 4 y 5 son áreas en donde permanecen la mayor parte del tiempo de pastoreo los animales; por lo cual hay un mayor pisoteo y por ende compactación, lo que puede limitar la disponibilidad del nutriente (Instituto de la Potasa y el Fosfato, 1997).

Las áreas de descanso presentan mayor concentración de fósforo por el depósito de excretas, y la línea cuatro es una zona clara de transición entre las áreas de descanso la de pastoreo donde la concentración es menor debido a la remoción de la cubierta vegetal.

La textura es otra variable que puede afectar la concentración del P; los suelos con alta cantidad de arcilla fijan más fósforo que aquellos que contienen menos arcilla (Instituto de la Potasa y el Fosfato, 1997); Como se puede ver en la tabla de resultados de textura, las líneas en las que se tiene un suelo con textura arcillosa son los que presentan las mayores concentraciones de fósforo. En pocas palabras la línea diez que presenta el mayor contenido de P tiene una textura arcillosa; mientras que la línea cuatro con menor contenido de P presenta una textura arcilloso-limoso, lo cual coincide con la referencia se dijo anteriormente.

Las formas disponibles de P se encuentran presentes en rangos de pH de 6-7 (Navarro y Navarro, 2003). Lo que coincide con los resultados obtenidos en pH de las doce líneas muestreadas. A excepción de la línea doce que presenta un valor de 5.57, que pudiera limitar la disponibilidad de dicho mineral.

5.4.4.2 Potasio

La concentración de K presenta diferencias significativas entre líneas ($P < 0.05$); la prueba de medias muestra que el valor máximo se presenta en la línea dos y el mínimo en la seis; es decir, la mayor concentración se encuentra en donde el índice de consumo es de 100%; mientras que en donde el índice de consumo es de cero (no hay consumo) la concentración es la más baja.

Por otro lado, Álvarez (2001), menciona que dicho mineral es considerado como el tercero de los elementos más abundantes del organismo de los bovinos, que forma parte de líquido intracelular. La forma de excreción de dicho mineral es por medio de las heces y la orina de los animales, por esta razón la línea dos que está más cerca del área de sacrificio (aguaje) en donde permanece el ganado por más tiempo tiene una mayor concentración de K mientras que la línea más alejada, en donde el índice de consumo disminuye, tiene menor concentración de potasio.

La humedad del suelo es necesaria para que se realice el movimiento del potasio por difusión hacia las raíces de la planta (Instituto de la Potasa y el Fosfato, 1997) y como se puede observar la línea dos es la que presenta mayor porcentaje de la misma, lo que coincide con la referencia citada.

5.4.4.3 Calcio

El contenido de Ca en suelo muestra diferencias significancias ($P < 0.05$) entre líneas. La prueba de medias muestra que la concentración más alta del mineral está en la línea ocho y la menor en la tres; es decir, entre más cerca del abrevadero se esté, aumenta el contenido de calcio en suelo. Con respecto a lo anterior, el calcio es el elemento más abundante en el organismo de los animales y es esencial porque desempeña numerosas funciones biológicas, tanto a nivel extracelular como intracelular. Dicho mineral forma parte de tejidos y fluidos corporales. La forma más común que tiene el ganado para eliminar el calcio es por medio de la excreción de heces y orina (Álvarez, 2001). Por esta razón la mayor concentración de Ca se encuentra en la línea ocho, pues es la que se encuentra más cerca del aguaje y en corresponde a un área de descanso para el ganado.

De acuerdo con la correlación canónica (ANEXO I y II) se encontró asociación entre el Ca con el pH y textura en el suelo. El Instituto de la Potasa y el Fosfato (1997) confirma esta información; en suelos arcillosos se encuentran mayores cantidades de Ca; por ello la textura influye en la concentración de dicho mineral.

Aquellos suelos con textura arcillosa muy ácidos (pH bajo), (que no es el caso dentro de los resultados del estudio) son menos agregados; es decir las partículas de suelo no se unen tan drásticamente ni se comportan como una sola unidad. Esto promueve una baja permeabilidad y aireación; siendo esto una situación negativa para la absorción de nutrimentos por las raíces de las plantas.

5.4.4.4 Magnesio

El análisis muestra que existen diferencias entre líneas ($P < 0.05$); según la prueba de medias indica que el valor máximo de este elemento se encuentra en la línea nueve y el mínimo en la diez. Cabe mencionar que la línea nueve tiene un índice de consumo de 72% (IC elevado) mientras que en la línea diez se presenta un índice de consumo de 13.19% (IC relativamente bajo). Es decir en las áreas donde el IC es mayor, la concentración de Mg aumenta.

Después del potasio, el Mg es el catión más abundante en los fluidos intracelulares. El suero de la sangre contiene de 1 a 3 mg de magnesio por cada 100 ml. El Mg se excreta en las heces y en la orina, pero su principal ruta son las heces donde se encuentra alrededor del 65% del magnesio excretado, por ello se observa que la mayor concentración de este nutrimento se encuentra en donde los animales permanecen más tiempo.

En la correlación canónica (ANEXO I y II) una de las variables que se asoció con el Mg es el K. Desde el punto de vista de la nutrición vegetal, la literatura menciona que debe existir una relación K/Mg. Dicha relación es un factor importante ya que la absorción de estos nutrimentos se realiza por difusión, por lo tanto la concentración del potasio debe de ser mayor (Instituto de la Potasa y el Fosfato, 1997) Para el caso del presente estudio se cumple con esta relación (ANEXO I y II). Esta correlación se debe a la deposición de heces por parte de los animales que pastorean mayor tiempo sobre las áreas que presentan mayor IC.

De forma general, los resultados de los análisis químicos indican que la cantidad de los macronutrimentos presentes están en cantidades suficientes, a pesar de que el

fósforo se observa en nivel bajo, y en equilibrio para el desarrollo de las especies estudiadas, tomando en cuenta que se está hablando del suelo donde se desarrolla pastizal natural, en un suelo joven con profundidad no mayor a los 15 cm, inclusive cabe mencionar que de las líneas 5 y 7 no se presentan resultados en este capítulo, pues no se pudo obtener suficiente suelo para la muestra.

En la Tabla 18 se muestran los resultados obtenidos en suelo de micronutrientos. Todo ello para verificar como influye la distribución de los puntos de muestreo en la concentración de dichos elementos y además verificar si el índice de consumo afecta la concentración de éstos. Dichos resultados se realizaron con base al análisis estadístico.

Tabla 18. Resultados de concentración de micronutrientos en suelo (ppm).

Línea	Mn	* Co	Cu	Zn	Fe	Na
L1	12.42 ^c	115.55 ^{ab}	17.13 ^a	326.15 ^a	4713.76 ^a	1508 ^a
L2	4.5 ^d	161.5 ^a	11.275 ^a	175.3 ^b	4299 ^b	980 ^a
L3	4 ^d	102 ^{ab}	5.975 ^a	214.95 ^b	2483.6 ^d	1464 ^a
L4	10.5 ^c	71.25 ^b	6.72 ^a	114.15 ^b	2485.17 ^d	831 ^a
L6	2.5 ^{de}	32 ^b	25.1 ^a	185.75 ^b	2107.57 ^e	149 ^a
L8	26.25 ^a	29 ^b	40.65 ^a	188.57 ^b	1783.87 ^f	1253 ^a
L 9	24.75 ^a	93 ^{ab}	39.025 ^a	158 ^b	4561.17 ^a	1518 ^a
L 10	1 ^e	25.25 ^b	29.575 ^a	60.1 ^b	1475.92 ^g	1347 ^a
L 11	15.75 ^b	61 ^b	26.9 ^a	105.94 ^b	3042.35 ^c	1518 ^a
L 12	11 ^c	15.5 ^b	38.1 ^a	105.92 ^b	2815.42 ^c	1373 ^a

Donde:

Las literales son los rangos de diferencias significativas arrojados por la prueba de medias.

5.4.4.5 Manganeso

En la concentración del hay diferencias altamente significativas ($P < 0.05$) entre líneas y la prueba de medias muestra que la mayor concentración se da en la línea ocho y la mínima en la diez. Lo que se puede observar es que la línea que se presenta un IC

de 13.19% se tiene una menor concentración del mineral; mientras que en la línea ocho que se presenta un IC mayor (55.99%) tiene concentración superior. Hay que considerar también que la línea ocho (mayor concentración de Mn) está más cerca a la zona de aguaje lo cual implica el constante paso del ganado por la zona.

Existen diversas variables que favorecen o limitan la disponibilidad de manganeso en el suelo, la cantidad de materia orgánica y el contenido de humedad (Instituto de la Potasa y el Fosfato, 1997). Como se pudo observar en el comportamiento del micro mineral éste se incrementó en el lugar donde existe mayor cantidad de materia orgánica, es decir en donde se deposita la mayor cantidad de estiércol, compuesto por restos de orina y heces del ganado, por un IC elevado de 55.99%. Es claro que los animales tienen preferencia por las zonas en las que encuentran agua, por ello la mayor parte del tiempo la pasan en zonas de abrevaderos. Por ello algunos autores coinciden en la idea de poner diferentes áreas de aguaje repartidas en los agostaderos para evitar que estos lugares se hagan más grandes y se degrade mayor cantidad de suelo y vegetación.

En la correlación canónica (ANEXO I y II) se dio la asociación entre el Ca y Mn. Las deficiencias en Mn surgen a causa de la interacción con otros nutrimentos como el Ca, Mg y Fe. Es decir, cuando se encuentran presentes estos elementos y se asocian entre sí, traen consigo la disminución en Mn (Instituto de la Potasa y el Fosfato, 1997).

5.4.4.6 Cobalto

Antes que nada hay que mencionar que aunque el cobalto no está considerado como micro nutrimento. Se incorporó en el presente estudio por la importante participación en reacciones que se llevan a cabo en la nutrición animal y principalmente en rumiantes, ya que Loyd *et al.* (1978) el cobalto se requiere para mantener la actividad normal de la microflora del tracto gastro-intestinal y suprime bacterias patógenas en el rumen; y por supuesto la planta lo adquiere del suelo.

El análisis estadístico muestra diferencias moderadamente significativas entre líneas en el contenido de Co ($P < 0.05$). La prueba de medias muestra la concentración máxima en la línea dos y la mínima en la doce; en la línea en la que se presenta un IC de 100% hay una concentración mayor del mineral; mientras que en la línea doce en donde se da la menor concentración, el IC es de 40.5%.

Existen diversos factores que pueden provocar la deficiencia de cobalto en el suelo, y al mismo tiempo provocan la disponibilidad del micro mineral para el aprovechamiento de la planta, entre ellos se encuentran: la textura, la humedad, pH y el contenido de óxidos de manganeso (Navarro y Navarro, 2003).

La línea dos en donde hay más contenido del Co tiene textura arcillosa y el autor menciona que en suelos con dicha textura, el mineral aparece en una proporción de 6-7 veces superior que en los suelos con textura gruesa, puesto que el Co^{2+} después de ser liberado de los minerales que lo contienen, se retiene en forma intercambiable o en forma de complejos organominerales. Por ello en la línea doce que tiene una textura franco- limosa la cantidad del mineral disminuye.

5.4.4.7 Cobre

La concentración de Cu presenta diferencias significativas bajas ($P < 0.05$), entre líneas. La prueba de medias muestra la concentración máxima en la línea ocho y la mínima en la tres. De acuerdo con Castellanos *et al.* (2000) el cobre presenta una concentración promedio de 55 a 70 ppm. En suelos considerados como deficientes, la totalidad del Cu puede ir de 1 a 2 ppm. En el presente estudio, el contenido de cobre en el suelo no es deficiente y se observa una tendencia ser mayor en las áreas en donde se deposita la mayor cantidad de excretas.

El cobre es un micro mineral de vital importancia para los rumiantes. Su función está ligada al correcto funcionamiento de muchas enzimas y su acumulación se da en los tejidos del organismo del animal de los rumiantes, principalmente en el hígado juega un rol fundamental en el metabolismo del cobre (Navarro y Navarro, 2003). Por lo anterior la forma en la que se excreta es por medio de las heces; en la orina y en el

sudor también se excreta pero en cantidades muy reducidas. Como se puede observar en la línea que se encuentra más cerca del abrevadero, donde el índice de consumo es mayor, se encuentra la mayor cantidad de Cu; mientras que en la más alejada hay menor concentración del mismo. En otras palabras, a mayor IC mayor permanencia de los animales y por ello mayor cantidad de excretas se depositan en el suelo y con ello mayor concentración de cobre.

5.4.4.8 Zinc

Existen diferencias altamente significativas ($P < 0.05$) entre las líneas de muestreo; la prueba de medias muestra que la línea donde se presenta la mayor concentración de dicho mineral es la uno que presenta un IC de 100% y la menor es la diez, con un IC de 13.19 %.

La cantidad de heces producida cada día puede variar considerablemente según la tasa de ingestión y la composición de la dieta. Las vacas alimentadas con una dieta alta en forraje producen más heces que las vacas alimentadas con concentrados que tienen un alto contenido de granos. En promedio, una vaca de 600 kg produce aproximadamente 10,000 kg de heces y orina al año. La materia seca del estiércol contiene aproximadamente 85% de materia orgánica y 15% de minerales. Además del nitrógeno, fósforo y potasio, otros minerales del estiércol de las vacas incluyen magnesio, calcio, sodio, azufre, hierro, zinc, manganeso y cobre (Buxadé, 1994). Entonces las asociaciones que se presentaron en la correlación canónica (ANEXO I y II) pueden deberse a la cantidad de excretas que desechan los animales en pastoreo y por las cantidades que se acumulan en el suelo.

Según Castellanos *et al.* (2000) el contenido del Zn total en el suelo varía de 10 a 300 ppm y cuyo promedio es de 50 ppm. En los resultados que se presentan en la Tabla 18 de micronutrientes, se puede observar que no existe déficit en los suelos estudiados; variando la cantidad de este micronutriente con una ligera tendencia de menor a mayor con relación a la distancia del abrevadero. Para el caso de la línea diez que presenta la menor cantidad de Zn, sin ser deficitario, es probable que se relacione con la textura del suelo, ya que los mismos autores mencionan que el Zn

es muy poco móvil en el suelo y su disponibilidad es afectada, entre otras variables, por la textura fina, lo cual corresponde a la línea diez.

Otros factores que pudieran afectar la concentración de Zn en el suelo analizado del área de estudio: materia orgánica, lixiviación y actividad biológica en el suelo.

Otro elemento importante para entender el comportamiento del Zn en el suelo es el pH. El elemento es menos disponible a medida que se incrementa el pH del suelo. Los suelos con pH superior a 6 pueden desarrollar deficiencias o bajas concentraciones en el mineral. La concentración de Zn se reduce 30 veces por cada unidad de incremento en pH entre 5.0 y 7.0 (Instituto de la Potasa y el Fosfato, 1997). Lo anterior coincide con los resultados del presente estudio; ya que el suelo de la línea diez, el cual presenta la menor concentración de Zn, tiene un pH de 6.6, que corresponde al valor más alto presentado en los análisis de la presente investigación.

5.4.4.9 Hierro

Los resultados presentan diferencias altamente significativas ($P < 0.05$) entre líneas. La prueba de medias muestra que la concentración máxima de Fe se dió en la línea uno, en la cual el IC es de 100%; mientras que la menor en la línea diez, en donde el IC es de 13.19%.

Este micronutriente generalmente no presenta problemas en suelos con pH menor a 6.5; sin embargo, en suelos alcalinos el Fe es un elemento que causa problemas. Para el caso del presente trabajo, en el contenido de Fe en suelo no se presentan deficiencias (Castellanos *et al.* 2000). Sin embargo, se observa una tendencia decreciente marcada en las líneas 1, 2, 3 y 6; lo cual puede obedecer a la presencia de mayor contenido de materia orgánica en descomposición; pues los valores más altos se encuentran en los sitios con mayor IC en el caso de la línea 1 y 2.

Según Castellanos *et al.* (2000) el Fe es el cuarto elemento en la composición de la corteza terrestre, representando el 5 % de ésta. Sin embargo, el Fe intercambiable va de 1 a 1000 ppm y el soluble 0.1 a 25 ppm. El pH del suelo es el factor que más afecta su disponibilidad. Por cada incremento de una unidad en el pH del suelo, la concentración del Fe^{+++} se reduce 1000 veces y la de Fe^{++} se reduce 100 veces. En presencia de materia orgánica mejora la disponibilidad.

Según Juárez *et al.* (2008), en la mayoría de los minerales primarios del suelo, el hierro se encuentra como Fe (III), que durante la meteorización en medios aerobios precipita como óxidos e hidróxidos de Fe (III) que son muy insolubles. Este hecho hace que los suelos puedan coexistir óxidos e hidróxidos de hierro con distintas composiciones y distinta solubilidad. El Fe (III), presenta distintas especies dependiendo del pH del suelo. Menciona el autor que a valores inferiores de 6.7, la especie que predomina en el suelo es el ion ferroso (Fe^{+2}) (que es la forma absorbible por las plantas a diferencia del férrico (Fe^{+3})) lo cual coincide con los valores obtenidos en la determinación de pH por líneas.

5.4.4.10 Sodio

El contenido de Na en suelo, no presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre líneas. La literatura menciona que en suelos con alta presencia de sodio es nocivo pues se forman carbonatos y bicarbonatos de sodio lo cual produce un aumento en el pH y al presentarse esta condición existen problemas de absorción de agua y nutrimentos (Castellanos *et al.* 2000). En el caso del presente trabajo uno de los indicadores que nos dice que no se tiene este problema son los niveles de pH que presentan los suelos en estudio. Por el contrario se considera que los valores obtenidos no corresponden a suelos de tipo sódico, lo cual es una condición favorable para el desarrollo del pastizal.

5.4.5 Carbono y materia orgánica:

En la Tabla 19 se muestran los datos correspondientes al análisis de carbono y materia orgánica en suelo.

Tabla 19. Resultados de concentración de materia orgánica y carbono en suelo (%).

Línea	Materia orgánica	Carbono
L1	1.979 ^a	1.114 ^{ab}
L2	1.97 ^a	1.1654 ^{ab}
L3	1.972 ^a	1.522 ^a
L4	1.975 ^a	1.35 ^a
L6	1.975 ^a	1.337 ^a
L8	1.981 ^a	1.041 ^{ab}
L9	1.981 ^a	1.047 ^{ab}
L10	1.986 ^a	0.741 ^b
L11	1.987 ^a	0.711 ^b
L12	1.986 ^a	0.736 ^b

Donde:

Las literales son los rangos de diferencias significativas arrojados por la prueba de medias.

De acuerdo con Castellanos *et al.* (2000) mencionan una clasificación de suelos con respecto al contenido de materia orgánica. Dicha clasificación en zonas con baja precipitación pluvial, como es el caso del área de estudio, corresponde a un suelo con contenido en materia orgánica elevado. Es conocido que la materia orgánica funciona entre otros aspectos, como fuente de carbono para que se realicen una serie de transformaciones a nivel de suelo en las que participan los microorganismos, utilizando a ésta como fuente de energía.

Es importante mencionar que la materia orgánica afecta directa y positivamente a los diferentes tipos de suelo; ya que a mayor contenido de materia orgánica, aumenta la porosidad, lo cual favorece al ambiente para el desarrollo de la raíz de las plantas. En este caso los suelos presentan mayor estabilidad estructural, mayor retención y disponibilidad de humedad (Castellanos *et al.* 2000).

En el contenido de carbono en suelos existen diferencias significativas entre líneas; la prueba de medias arroja que la concentración máxima de carbono se encuentra en

la línea tres, en donde el IC es de 35.19% y la mínima en la once donde el IC es de 58.3%. Cabe mencionar que la línea tres se encuentra prácticamente al lado de dos líneas de muestreo que presentan un IC de 100 % (línea 1 y 2); este factor puede ser la razón por la cual la mayor concentración de este elemento se dé en esta líneas. Esto se puede deber a la cantidad de heces que excretan los animales en las áreas de sobrepastoreo; además del material vegetal acumulado, ya que en esta línea se presenta un IC relativamente bajo.

Según la correlación canónica (ANEXO I y II) encontramos que si existe asociación entre contenido de carbono y textura en el suelo. Según Matus y Maire (1998), es sabido que suelos arcillosos retienen más materia orgánica que suelos arenosos, a pesar de haber sido sometidos al mismo aporte de materia orgánica. Estas diferencias resultan de la mayor protección de la materia orgánica contra la biodegradación. La protección ocurre cuando la materia orgánica es adsorbida sobre la superficie de las partículas de arcilla y limo, o cuando es "incrustada" o recubierta por los minerales de arcilla o cuando se localiza dentro de los micro-agregados, fuera del alcance de los microorganismos. Todos estos mecanismos afectan negativamente las tasas de mineralización de C y N (Matus y Maire, 1998).

Bajo condiciones apropiadas, todos los tejidos orgánicos que llegan al suelo en forma de plantas y animales quedan sometidos inmediatamente a una transformación química y bioquímica; en dichos procesos participan los microorganismos que viven en el suelo; como los microorganismos vegetales y animales tanto superiores como inferiores. Éstos compuestos orgánicos son sustancias químicas que a su vez contienen carbono, formando enlaces covalentes carbono-carbono o carbono-hidrógeno. En muchos casos contienen oxígeno, nitrógeno, azufre, fósforo, boro, halógenos y otros elementos (Navarro y Navarro, 2003). Estos compuestos se denominan moléculas orgánicas y un residuo que se produce a partir de la actividad ganadera precisamente contiene todas estas características; tal es el caso del estiércol, constituido por las heces y orina del ganado. Por lo anterior es necesario evitar el sobrepastoreo en pastizales naturales a efecto de evitar la degradación del recurso suelo.

5.5 Interacción de variables de suelo vs planta

Como se mencionó en el apartado de metodología, se realizó análisis estadístico de las variables del suelo y forraje. Lo anterior con el fin de verificar la influencia del índice de consumo en la composición química tanto de planta y suelo. Todas las anteriores discusiones que se presentaron fueron elaboradas a partir del análisis de correlación (ANEXO III y IV). A continuación se presentan algunos puntos importantes extraídos del mencionado análisis para explicar la asociación de las variables en el ecosistema pastizal.

Es importante entender que el pastizal es un bioma muy complejo por todos los elementos que lo componen y lo que se quiere dejar claro en la presente investigación es que si uno de los elementos que componen a estas áreas se ve afectado, se estará causando una alteración de los demás elementos que interactúan. Como conclusión previa se puede afirmar que el índice de consumo afecta a la calidad de la dieta y por ende al suelo por las interacciones que se presentan entre sus elementos

5.5.1 Proteína cruda - cobre de suelo

La relación que se da entre la proteína cruda de la planta y el cobre en suelo es debido a que el cobre juega un papel muy importante en la fotosíntesis participando como un constituyente esencial de la plastocianina (proteína cúprica). Esta enzima se localiza en los cloroplastos y forma parte de una cadena de transporte de electrones entre los dos sistemas foto químicos de la fotosíntesis. El papel exacto del Cu en la plastocianina no se conoce aun con exactitud, pero se atribuye a cambios reversibles en el estado de oxidación de las plantas (Wild A., 1992).

5.5.2 Proteína cruda - calcio de suelo

De acuerdo con Wild A., 1992 el calcio representa uno de los principales medios para que se realicen procesos enzimáticos en la planta. La relación PC- Ca se produce debido a que como se sabe las enzimas son proteínas fabricadas por un organismo vivo, que permite acelerar reacciones químicas o hace posibles aquellas que no se producirían. Dicho de otro modo, constituyen un catalizador biológico de las reacciones bioquímicas del metabolismo de un ser vivo, en este caso vegetal.

5.5.3 Proteína cruda - Índice de consumo

Dicha correlación se presenta debido a que en la línea que hay mayor porcentaje de PC es en la cuatro; es decir en la que hay un índice de consumo de 100 % hay mayor concentración de PC. Este comportamiento se puede deber a que en donde el índice de consumo aumenta hay mayor concentración de animales y por lo tanto de estiércol. Dicho desecho se encuentra compuesto por un 8.09% de PC (Granados *et al.*1983). Cabe mencionar que la especie que presentó mayor cantidad de PC fue la *Bouteloua gracilis*; uno de los elementos por los que una especie es más palatable que otra es el contenido de proteína; este elemento puede ser una causa por la cual el ganado prefiere consumir a la especie nativa y no a la invasora.

5.5.4 Calcio – Potasio

De acuerdo con Wild A. (1992) los elementos nutritivos en el estado de iones pueden causar unos sobre otros, acciones que pueden hacer reducción o aumento de la absorción en la planta, por medio de mecanismos de tipo físico- químicos. A estos fenómenos se les denomina antagonismos y sinergismos.

Un antagonismo por su parte se presenta en la correlación de Ca- K y K-Ca.

	A	B
iones =	Ca	K

Cuando se mantiene constante A, el ion B tiende a inhibir la absorción del ion A si su concentración aumenta con las condiciones del medio. Dicho fenómeno puede llegar a ser máximo cuando la concentración de B llega a ser mayor que la del ion A; es decir al aumentar la concentración del K en el medio la absorción de Ca disminuye y viceversa. Por esta razón se presenta dicha correlación canónica entre los resultados de los dos minerales.

Un dato importante es que el exceso de carbonato cálcico puede provocar deficiencias de potasio motivada por una insuficiente absorción de éste, precisamente por el antagonismo que se da entre ellos. Este fenómeno puede inducir a la clorosis férrica e inmovilizar otros minerales como el zinc, cobre y fósforo, provocando deficiencias de estos elementos.

5.5.5 Calcio planta- calcio suelo

El Ca en la planta forma parte en mayor proporción en las hojas y tallos que en las semillas de la planta. Se sugiere que las concentraciones que se presentan de dicho mineral en las plantas varían obviamente de acuerdo a la especie vegetal y a la cantidad de calcio asimilable que se encuentre presente en el suelo. Dicho lo anterior se entiende la asociación que existe en suelo y planta (Navarro y Navarro, 2003).

Como lo menciona Álvarez (2001) el calcio en el desarrollo vegetal es un elemento fundamental. Pero además de su esencialidad, puede decirse que es uno de los minerales mas asociados con la fertilidad en suelos. El autor afirma que el Ca no solo es fundamental no solo en la estructura del suelo, sino también en la mecánica química del complejo adsorbente; además de su influencia en la asimilabilidad de otros elementos también esenciales de la planta.

5.5.6 Hierro planta- cobre suelo

De acuerdo con Navarro y Navarro (2003), el cobre en altas concentraciones en el suelo (300 ppm) actúa en reacciones que afectan al estado de oxidación del hierro. Esto provoca una limitación en su absorción y por lo tanto en la translocación en la planta. El valor que presentan las diferentes muestras en el agostadero no llegan a

valores excesivos que menciona de acuerdo con las referencias; sin embargo existe asociación entre dichos minerales.

5.5.7 Hierro planta – cobalto suelo

Las plantas que se reproducen en suelos con altos contenidos de cobalto las plantas pueden absorber dicho mineral en exceso, lo que puede traer como una consecuencia deficiencias principalmente en el hierro y el manganeso en las plantas y en casos agudos causar clorosis y necrosis en las especies. Esto sucede debido a que el cobalto en exceso en el suelo puede desplazar a los elementos antes mencionados en procesos fisiológicos importantes de la planta, ocupando su lugar (Navarro y Navarro, 2003).

5.5.8 Hierro en planta – pH suelos

Según Álvarez (2001), en suelos dedicados a la actividad agropecuaria, las posibilidades que la planta tiene para utilizar el hierro que se encuentra disuelto en el suelo como complejos coloides son pocas. El autor menciona que dicho aprovechamiento por parte de la planta, depende directamente del pH del suelo y también por la composición mineral y orgánica del mismo.

Álvarez (2001), también menciona que todas las reacciones que se lleven a cabo en el suelo afectan generalmente a la absorción por su influencia en el estado de asimilación del nutriente o en la cantidad en que éste se encuentre disponible. Los casos más comunes en los que ocurre dicho fenómeno son: bloqueo o inhibición, precipitación recíproca y volatilización. En el caso del hierro en la planta, ocurre un bloqueo, que se produce con valores determinados de pH, en el que el elemento debido a sus características fisicoquímicas se transforma en inasimilable al pasar a formar parte de un compuesto insoluble, este es el caso del hierro, manganeso y cobre, los cuales a pH básicos precipitan (como los que se presentan en el suelo analizado), originando hidróxidos solubles.

5.5.9 Hierro en planta- magnesio y calcio en suelo

La menor y mayor concentración de Fe en planta se encuentra en la línea 4 y 12 respectivamente; en dichas líneas la textura que poseen los suelos es arcilloso-limoso y franco – limoso. Respecto a esta asociación que se dió entre los minerales antes mencionados, Wild A. (1992) afirma que existen diferentes minerales que se encuentran en las fracciones de arena y también de limo (que es uno de los componentes en textura de las líneas cuatro y doce). Uno de estos minerales son los ferromagnesianos que carecen de aluminio y se dividen en piroxenos $(MgFe)SiO_3$, anfíboles $(MgFe)_7(SiO_{11})_2(OH)_2$ y olivinos $(MgFe)_2SiO_4$, en donde (MgFe) indica un único ion. En este caso el magnesio y el hierro en forma de ion ferroso son totalmente intercambiables en estos minerales, y en general también existe un cierto grado de sustitución de cambios de elementos por el calcio. Dichas interacciones favorecen el aprovechamiento de la planta para realizar funciones fisiológicas. Es por ello que en estas líneas con la textura antes mencionada se dá la correlación canónica. En forma general se puede decir que la textura arcillosa favorece a la planta para que ésta pueda absorber los nutrimentos disueltos en el suelo.

5.5.10 Sodio de planta, Mg y Ca del suelo

Wild A. (1992) afirma que esta asociación existe en el concepto de salinidad/sodicidad en suelos, explicada por la ecuación de Gapon. Dicha ecuación es ampliamente utilizada para comprender el intercambio de sodio por calcio en aquellos suelos salinos. Los suelos a menudo contienen cantidades significativas de magnesio intercambiable; el elemento se comporta como ion de intercambio del mismo modo que se comporta el Ca. Es decir que el Ca y el Mg de la planta buscan intercambiarse con el sodio de la planta para encontrar un equilibrio en la composición tanto del suelo como de la planta. Por ser un intercambio o proceso natural, para que la planta pueda aprovechar nutrimentos, es bueno que se esté dando esta correlación

5.5.11 Sodio planta – pH suelo

Esta correlación tiene que ver con la saturación de bases, que define Wild A. (1992) como una propiedad de los suelos, que se define como el porcentaje de la capacidad

de cambio catiónico total ocupada por cationes alcalinos como el calcio, magnesio, sodio y potasio. Esta saturación de bases está relacionada con el pH y la fertilidad del suelo. De acuerdo con el autor, a mayor pH y mayor fertilidad de un suelo mayor es el grado de saturación de bases. Por ello a mayor grado de saturación de bases resulta ser mayor la facilidad con que los cationes son absorbidos por las plantas.

VI. CONCLUSIONES

El análisis en la composición botánica del sitio de trabajo, señala a *Melinis repens* y *Heteropogon contortus* como las gramíneas de mayor abundancia, siendo esta última especie menos frecuente; pero con mayor cobertura que *M. repens*.

Los datos de vegetación muestran la importancia que ha ido cobrando *M. repens* en el agostadero como especie invasora, lo que ha provocado que se dé una nueva asociación, *Heteropogon-Melinis*; después de que hace algunas décadas era *Bouteloua-Bothriochloa*.

La producción en el potrero San Isidro corresponde a 8.68% de *Bouteloua gracilis* y 28.78% para *Melinis repens*, con un área ocupada de 4.09 y 8.21% respectivamente.

El índice de consumo de éstas especies corresponde el 100% para el caso de *B. gracilis* y 3.5% para *M. repens*. Con ello se puede observar el inminente desplazamiento de la especie nativa contra la invasora.

En el agostadero, las partes planas y con diferencias altitudinales de hasta 4 metros se obtienen consumos del 71 al 100%, de 5 a 7 metros el IC es de 35 a 58% y alturas mayores a 10 metros el consumo es cero. Es decir, en las planicies hay mayor IC mientras que en lomas o partes más altas disminuye el consumo.

El índice de consumo se ve disminuido con la presencia de *Melinis repens*.

El consumo está influenciado principalmente por el contenido de proteína y fibra detergente neutra.

El análisis de micronutrientes en planta, mostró que existen diferencias entre especies únicamente en el caso de concentraciones de hierro y el Zinc. Resultando que la especie nativa presenta mayor cantidad de Fe y Zn que la invasora.

La concentración de fósforo en el forraje no es un factor que pueda considerarse como determinante para establecerlo como promotor o inhibidor del consumo de una especie en particular; aun cuando *Melinis repens* tiene mayor cantidad del mineral.

En términos generales *M. repens* presenta características específicas que la distinguen de las especies nativas y que posiblemente favorecen el éxito en la colonización. Algunas ventajas que presenta son: alto número de semillas, mayor eficiencia en el uso de agua y altas tasas relativas de crecimiento en suelos delgados y/o poco profundos

El suelo del potrero estudiado, es joven y poco profundo; el cual con un manejo de pastoreo inadecuado, puede desequilibrarse en su composición fisicoquímica.

Los niveles del potencial de Hidrógeno encontrados son ligera y moderadamente ácidos, condiciones favorables para la absorción óptima de macro y micronutrientes.

La humedad residual y el tipo de suelo son factores importantes en el establecimiento y crecimiento de las especies; y los que marcan las diferencias de propagación entre las especies invasoras y nativas.

Es un suelo que presenta alta retención de humedad favoreciendo el desarrollo de *Bouteloua gracilis* y *Melinis repens*. La diferencia puede presentarse en la cantidad de suelo presente en las diferentes líneas Canfield ya que, por erosión eólica e hídrica, se van depositando en las partes bajas.

El Suelo tiene clasificaciones texturales de tipo: mediano y principalmente fino con porcentajes altos de arcilla. Arcilloso, arcillo-limoso y franco-arcilloso, cuyas principales características son; alta retención de humedad y presencia de macro y micronutrientes.

En suelo de la zona de castigo donde el índice de consumo es igual o mayor al 75 % se incrementa el contenido en K, Mg, Ca, P, Mn y Cu en suelo, debido a la cantidad de excretas que depositan los animales al suelo.

El reciclaje de materia orgánica de origen vegetal o animal mantienen en buen estado las condiciones del suelo. Por lo que se concluye que el índice de consumo influye en la composición fisicoquímica del suelo.

Los niveles de concentración de micronutrientos en suelo, de forma general, no presentaron deficiencias. Por lo que dichos elementos están disponibles para el desarrollo de *Bouteloua gracilis* y *Melinis repens*.

El contenido de materia orgánica se incrementa en zonas con menor índice de consumo, debido a la acumulación de material vegetal y excretas.

El crecimiento de *Melinis repens* se debe principalmente a los espacios de suelo desnudo provocados por el pastoreo continuo y /o sobrepastoreo.

Las condiciones del suelo favorecen el crecimiento de ambas especies.

VII. RECOMENDACIONES

Este trabajo de investigación aportó una serie de resultados importantes para entender como el Índice de consumo puede afectar a la composición fisicoquímica del suelo y del mismo forraje. Además, mostró diferencias nutrimentales entre la especie nativa *B. gracilis* y la invasora *M. repens*; todo ello para entender el comportamiento de preferencia que tiene el ganado hacia la especie nativa. Sin embargo, como se sabe, el ecosistema pastizal implica un sin número de factores bióticos y abióticos que se asocian entre sí, que es la relación suelo- planta- animal- ambiente. En futuros trabajos valdría la pena analizar el comportamiento de los animales en relación a las preferencias de alimentación y sobre las áreas que éstos eligen pastorear. Debido a que en este proceso de elegir ¿Qué comer? van implícitos elementos que permitirían saber ¿Qué es lo que hace a un alimento mas palatable para el ganado? además de sus características químicas.

Otro elemento que se recomienda en futuras investigaciones es estudiar a las especies nativas e invasoras con un análisis de metabolitos secundarios; ya que puede ser, que éstos sean los que marcan las diferencias entre las especies nativas frente a las invasoras.

Finalmente lo que se busca con el análisis de las especies antes mencionadas, es perpetuar a las especies nativas y desterrar a las invasoras.

VIII. REFERENCIAS

- Aguirre, E. L. y D. Huss (1981). Fundamentos de manejo de Pastizales. 1ra edición. Instituto Tecnológico y de estudios superiores de Monterrey. Monterrey, N. L., México. 227 p.
- Álvarez, J. L. (2001). Bioquímica nutricional y metabólica del bovino en el trópico. 1ra edición. Ed. Universidad de Antioquia. Colombia. 2001 pp.
- Allison, C. D. (1985). Factors affecting forage intake by range ruminants: a review. *J. Range Manage.* 38: 305.
- Araujo- Febres, O. (2005). Factores que afectan el consumo voluntario en bovinos a pastoreo en condiciones tropicales. IX Seminario de pastos y forrajes. Departamento de Zootecnia, Facultad de Agronomía. Maracaibo, Venezuela. 1-12 pp.
- Ávila, R., E. Quiroga, C. Ferrando y L. Blanco. (2008). Dinámica de la calidad a lo largo del año de dos gramíneas nativas de los llanos de la rioja. *Producción animal. EEA INTA La Rioja.* 1-2 pp.
- Belsky, A.J., R.G. Amundson, J.M. Duxbury, S.J. Riha, A.R. Ali and S.M. Mwonga. (1989). The effects of trees on their physical, chemical, and biological environments in a semi-arid savanna in Kenya. *J. App. Ecol.*, 26: 1005-1024 pp.
- Buxadé, M. C. (1994). Zootecnia, bases de producción animal. Tomo II: Reproducción y alimentación. 1ra edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 2:345 pp.
- Canfield, R.H. (1941). Application of the line interception method in sampling range vegetation. *Journal of Forestry* 39: 399-394.

- Carrillo, S., S. M. Arredondo, T. Huber-Sannwald, E. Flores y J. Rivas. (2009). Comparación en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas entre gramíneas nativas y exóticas del pastizal semiárido. *Técnica Pecuaria en México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 49: 299-312 pp.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle y A. Aguilar (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2da edición. INCAPA. 226 pp.
- COTECOCA. (1979). Comisión técnica para la determinación regional de los coeficientes de agostadero en el estado de Durango. SARH. Subsecretaría de ganadería. 66-71 pp.
- Chambers, N. y T. Oshant. (2004). Plantas Invasoras del Desierto Sonorense. Sonoran Institute, Environmental Education Exchange y National Fish and Wildlife Foundation. E.U.A. 60 p.
- Chávez, M. G. (1990). Consumo voluntario de forraje, valor nutritivo de la dieta y gasto energético de vacas gestantes y lactantes en pastoreo. Tesis maestría. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. Sp.
- Flores, J. A. (1983). Bromatología animal. 3ra edición. Ed. Limusa. México, D.F. 1096 pp.
- González, S., M. González y M. A. (2007). Márquez. Vegetación y Eco regiones de Durango. Ed. Plaza y Valdés. Durango, México. 64-67 pp.
- Granados, C. y L. F. Bückle (1983). Cultivo de las microalgas *Monochrysis lutheri* y *Skeletonema costatum* con nutrientes producidos por estiércoles digeridos. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada, Baja California. Sp.

- Hernández, R. O. (1998). Temas de análisis estadístico multivariado. 1ra edición. Ed. de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 77-79 p.
- Herrera A. Y. y D. S. Pámanes G. (2006). Guía de pastos para el ganadero del Estado de Durango. IPN- COCyTED, CIIDIR Unidad Durango. Durango, México. 291 p.
- Instituto de la Potasa y el Fosfato. (1997). Manual Internacional de la Fertilidad del Suelos. INPOFOS, Quito, Ecuador. Sp.
- Instituto nacional de ecología. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre. Inventario nacional de suelos. Dirección general de restauración y conservación de suelos: En línea 15 y 16 de abril del (2009).
<http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/312/sueloedo.html>
- Juárez, M., M. Cerdán y A. Sánchez-Sánchez. (2008) Hierro en el sistema suelo-planta. Depto. Agroquímica y Bioquímica. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. 1-22 pp.
- Lok, S., G. Crespo, E. Frómeta y S. Fraga. (1999). Indicadores de sostenibilidad del sistema suelo-planta para la evaluación del impacto del uso de diferentes tipos de pastizales tropicales. VI Simposio Internacional de Pastizales. Universidad Agraria de la Habana. La Habana, Cuba. 1-4.
- Lyons, R. K., R. Machen y T. Forbes. (1996). ¿Porque cambia la calidad del forraje de los pastizales?. Extensión Cooperativa. Estación experimental agrícola de Texas. Sistema Universitario Texas A&M. 2-5 pp.
- Lyons, R. K., R. Machen y T. Forbes. (2001) Entendiendo el consumo de forraje de los animales en pastizales. Extensión Cooperativa. Estación experimental agrícola de Texas. Sistema Universitario Texas A&M. 1-6 pp.

- Lloyd, L. E., R. Mc Donald y N. Clamnton. (1978). Traducción de los primeros 19 capítulos del libro "Fundamentals of nutrición". 2da edición. Facultad de agronomía de la UANL.
- Matus, F. J. y Ch. R. Maire (1998). Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. Agricultura Técnica. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias. Chile. 60:112-126 pp.
- Mejía, H. J. (2002). Consumo voluntario de forraje por rumiantes en pastoreo. Acta Universitaria. Universidad de Guanajuato. 12: 56-63
- Melgoza, A., M. H. Esqueda, E. Gutiérrez y G. Reyes. (1989). Distribución de fitomasa en cuatro gramíneas forrajeras. Boletín de pastizales. RELC-INIFAP-SARH. Chihuahua, México. 18:1-8 pp.
- Mueller-Dombois, D. and H. Ellenberg. (1974). Aims and Methods of Vegetation Ecology. *J. Willey and Sohns Inc.* New York, U.S.A. 326 pp.
- Nai-Bregaglio, M., E. Pucheta y M. Cabido. (2002). El efecto del pastoreo sobre la diversidad florística y estructural en pastizales de montaña del centro de Argentina. Revista chilena de historia natural. Córdoba, Argentina. 75: 613-623 pp.
- Navarro, B. S. y G. Navarro. (2003). Química agrícola. 2da edición. Ed. Mundi-Prensa Madrid. Madrid, España. 491 p.
- Pámanes, D. S. (2008). Efectos del pastoreo continuo durante 28 años (1979-2007) en pastizal mediano con arbustos en Durango. Tesis de Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental- CIIDIR-IPN Unidad Durango). Durango, México.

- Quero, A. R., J. F. Enríquez y L. Miranda. (2007). Evaluación de especies forrajeras en América tropical, avances o Status Quo. *Interciencia* 32: 556-571 pp.
- Ramírez, L. R. (2008). Los pastos en la nutrición de los rumiantes. *Ciencia UAL*. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México. 198 p.
- Rodríguez, H. y J. Rodríguez. (2002). Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de interpretación. 1ra edición. Ed. Trillas. Universidad Autónoma de Nuevo León. México, Monterrey, N.L. México. 1:196 p.
- Royo, M., J.S. Sierra, C.R. Morales, R. Carrillo, C. Melgoza y P. Jurado (2008) Estudios ecológicos de pastizales. En: Rancho Experimental la Campana 50 Años de Investigación y Transferencia de Tecnología en Pastizales y Producción Animal. Compilador: Chávez, A. Inifap. 213 pp.
- Rzendowski, J. (1978). Vegetación de México. 1ra edición. Ed. LIMUSA. México. 432 pp.
- Tejada, I. (1983). Manual de Laboratorio para Análisis de Ingredientes Utilizados en la Alimentación animal. Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria. México D. F. 20-34 p.
- Van Soest, P. J. and Wine, R.H. (1967). Use of detergents in analysis of fibrous feeds. LV. Determination of plant cell wall constituents, *J. of the A.O.A.C.* *In*: Tejada, I. 1983. Manual de laboratorio para análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal. Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria. México. 25-41 p.
- Vargas, O., J. Premauer y C. Cárdenas. (2002). Efecto del pastoreo sobre la estructura de la vegetación en un paramo húmedo de Colombia. *Sociedad Venezolana de Ecología*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. 15:35-50.

Wild, A. (1992). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 1:1046 p.

Zhu, N., CH. Deni y H. Quian. (2004). Performance characteristic of tree aeration system in the swine manure composting. Bioresource Technology. 319-326 p.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional, por haberme dado la oportunidad de desarrollarme como persona y profesionista en el tiempo que realice mis estudios.

Al maestro Jesús Herrera Corral, por impulsarme día con día; además de darme toda la confianza y ánimo para realizar el presente trabajo de investigación. Pero sobre todo externo mi gratitud porque además de encontrar a un excelente profesor y persona; encontré en él un verdadero amigo.

A la Ing. Margarita Castillo Rodríguez por compartir sus conocimientos y habilidades en la parte química de la tesis. Gracias por brindarme su amistad y por hacer agradable el trabajo difícil.

A mi comité tutorial, por sus valiosas contribuciones, interés y disposición en el desarrollo en de la investigación.

A mis amigos, de los que me llevo excelentes recuerdos y experiencias nunca antes vividas, llenas de aprendizaje.

IX. ANEXOS

ANEXO I. Resultados de correlación simple con variables medidas en suelo.

	L	T	Cu	Zn	Mn	Fe	Co	K	Na	Mg	P	Ca	H	C	IC	pH	A	MO
L	1.00	0.60	0.64	-	-	-	-	-0.55	-	-	-	-	-0.54	-0.77	-0.48	-0.51	-	-
T	-	1.00	-	-	0.50	-	-0.48	-	-	-	-	0.45	-	-0.48	-	-	-	-
Cu	0.64	-	1.00	-	0.49	-	-0.57	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.45	-	-
Zn	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.62	-	-	-	-	-
Mn	-	0.5	0.49	-	1.00	-	-	-	-	-	-	0.56	-0.51	-	-	-	-	-
Fe	-	-	-	-	-	1.00	0.71	0.5	-	0.68	-	-	-	-	-	-	-	-
Co	-0.69	-0.48	-0.57	-	-	0.71	1.00	0.76	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-
K	-0.55	-	-	-	-	0.5	0.76	1.00	-	0.56	-	-	-	-	-	-	-	-
Na	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	0.53	-	-	-	-	-	-	-
Mg	-	-	-	-	-	0.68	0.6	0.56	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-
P	-	-	-	-	-	-	-	-	0.53	-	1.00	-	0.49	-	-	-	-	-
Ca	-	0.45	-0.45	-	0.56	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-0.51	-	-
H	-0.54	-	-	-0.52	-0.51	-	-	-	-	-	-0.49	-	1.00	-	-	-	-	-
C	-0.77	-0.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-
IC	-0.48	-	-	-	-	0.73	0.65	0.47	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-
pH	-0.51	-	-0.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-
A	-	-	-	-	-	-	-	-0.7	-	-	-	0.52	-	-	-0.74	-	1.00	-
MO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.51	1.00

Donde:

T= textura, H= humedad, C= carbono, IC=índice de consumo., A= altura, MO= materia orgánica, L= línea

ANEXO II. Resultados de correlación canónica con variables medidas en suelo.

	L	T	Cu	Zn	Mn	Fe	Co	K	Na	Mg	P	Ca	H	C	IC	pH	A	MO
L	-	35.95	41.31	-	-	-	-	30.23	-	-	-	-	28.89	38.53	23.06	25.9	-	-
T	-	-	-	-	24.64	-	23.47	-	-	-	-	20.42	-	22.75	-	-	-	-
Cu	41.31	-	-	-	24.12	-	32.58	-	-	-	-	-	-	-	-	20.65	-	-
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37.96	-	-	-	-	-
Mn	-	24.64	24.12	-	-	-	-	-	-	-	-	31.33	26.39	-	-	-	-	-
Fe	-	-	-	-	-	-	50.93	25.13	-	46.77	-	-	-	-	-	-	-	-
Co	47.53	23.47	32.58	-	-	30.93	-	58.19	-	32.23	-	-	-	-	-	-	-	-
K	30.23	-	-	-	-	25.13	58.14	-	-	31.4	-	-	-	-	-	-	-	-
Na	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27.93	-	-	-	-	-	-	-
Mg	-	-	-	-	-	46.77	9.78	31.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	-	-	-	-	-	-	-	-	27.93	-	-	-	24.39	-	-	-	-	-
Ca	-	20.42	1.45	-	31.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.13	-	-
H	28.89	-	-	37.96	26.39	-	-	-	-	-	24.39	-	-	-	-	-	-	-
C	58.53	22.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IC	23.06	-	-	-	-	52.71	42.09	22.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	25.9	-	20.65	-	-	-	-	-	-	-	-	12.13	-	-	-	-	-	-
A	-	-	-	-	-	-	-	49.23	-	-	-	27.16	-	-	54.92	-	-	-
MO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26.85	-

Donde:

T= textura, H= humedad, C= carbono, IC=índice de consumo., A= altura, MO= materia orgánica, L= línea

ANEXO III. Resultados de índice de correlación simple en variables de suelo vs planta.

Suelo Planta	Suelo																
	Cu	Zn	Mn	Fe	Co	K	Na	Ca	P	Mg	H	C	A	MO	pH	IC	L
PC	0.65	-	-	-	0.72	-	-	0.78	-	-	-	-	-	-	-	0.71	-
FDN	-	-	0.69	-	-	0.78	-	0.76	-	-	-	-	-0.96	-	-	0.91	-
FDA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CEL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CDA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LIG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SDA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	-	-	-	-	0.78	0.74	-	0.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe	0.64	-	-	-	-0.74	-	-	-0.68	-	0.74	-	-	-	-	-0.76	-	0.7
Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	-	-0.66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na	0.84	-	-	-	-0.89	-0.65	-	-0.92	-	-0.67	-	-	-	-	-0.75	-0.79	0.78
P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Donde:

L= línea de muestreo, T= textura, H= humedad, C= carbono, IC=índice de consumo, A= altura, MO= materia orgánica.

ANEXO IV. Resultados de correlación canónica en variables de suelo vs planta.

Suelo \ Planta	Cu	Zn	Mn	Fe	Co	K	Na	Ca	P	Mg	H	C	A	MO	pH	IC	L
PC	42.67	-	-	-	52.06	-	-	61.02	-	-	-	-	-	-	-	51.09	-
FDN	-	-	48.07	-	-	60.21	-	57.63	-	-	-	-	91.64	-	-	82.9	-
FDA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CEL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CDA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LIG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SDA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	-	-	-	-	60.53	56.03	-	42.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe	41.5	-	-	-	54.79	-	-	45.66	-	55.31	-	-	-	-	57.92	-	49.03
Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	-	43.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na	70.76	-	-	-	79.57	41.66	-	83.89	-	45.38	-	-	-	-	56.38	63.15	60.98
P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Donde:

L= línea de muestreo, T= textura, H= humedad, C= carbono, IC=índice de consumo, A= altura, MO= materia orgánica.

