



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**  
**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO**



**EVALUACIÓN DE LA DIETA Y REQUERIMIENTOS DE SUPLEMENTACIÓN  
DE BOVINOS EN PASTOREO MEDIANTE NITRÓGENO FECAL**

**Por:**

**Ana Fabiola Hernández Arteaga**

**Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de  
Maestra en Ciencias Agropecuarias**

**Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P.**

**Febrero de 2024**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**  
**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO**



**EVALUACIÓN DE LA DIETA Y REQUERIMIENTOS DE SUPLEMENTACIÓN  
DE BOVINOS EN PASTOREO MEDIANTE NITRÓGENO FECAL**

**Por:**

**Ana Fabiola Hernández Arteaga**

**Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de  
Maestra en Ciencias Agropecuarias**

**Comité de Tesis**

**Director Dr. Héctor Aarón Lee Rangel**

**Codirector: Dr. Luis Octavio Negrete Sánchez**

**Asesores Dr. Juan Carlos García López**

**Dr. Gregorio Álvarez Fuentes**

**Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P.**

**Febrero de 2024**

El trabajo titulado “**Evaluación de la dieta y requerimientos de suplementación de bovinos en pastoreo mediante nitrógeno fecal**” fue realizado por la MVZ Ana Fabiola Hernández Arteaga como requisito parcial para obtener el grado de **Maestra en Ciencias Agropecuarias** y fue revisado y aprobado por el suscrito comité de tesis.

**Dr. Héctor Aarón Lee Rangel**

**Director**

**Dr. Luis Octavio Negrete Sánchez**

**Co-director**

**Dr. Juan Carlos García López**

**Asesor**

**Dr. Gregorio Álvarez Fuentes**

**Asesor**

Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, a los 9 días del mes de Febrero de 2024.

## LICENCIA

EVALUACIÓN DE LA DIETA Y REQUERIMIENTOS DE SUPLEMENTACIÓN DE BOVINOS EN PASTOREO  
MEDIANTE NITRÓGENO FECAL © 2024 by ANA FABIOLA HERNÁNDEZ ARTEAGA is licensed

under [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International](#)

## **DEDICATORIA**

A mis padres Eugenia Luz María Arteaga Pineda y Octaviano Hernández Plasencia  
Por ustedes y para ustedes.

## CRÉDITOS INSTITUCIONALES

### **Agradecimientos por apoyo económico**

*Al programa de apoyo a NPTC del PRODEP.*

*Al Dr. Luis Octavio Negrete Sánchez*

*Al apoyo financiero de CONAHCYT a través de la beca con número de CVU 1078812.*

*Al IIZD, por el acceso al laboratorio de ciencia animal*

*A la Facultad de Agronomía y Veterinaria por el acceso al laboratorio de bromatología.*

### **Agradecimientos por asistencia técnica**

*Dr. Luis Octavio Negrete Sánchez*

*Dr. Gregorio Álvarez Fuentes*

*Dr. Héctor Aarón Lee Rangel*

*Dr. Juan Carlos García López*

*Dr. Alejandro Roque Jiménez*

*Dra. Liliana Miranda Aragón*

*Dr. Heriberto Méndez Cortés*

*Quetzal*

*Karen*

*Julio*

## AGRADECIMIENTOS

Ante todo y primero que a nadie le doy gracias a Dios por permitirme estar aquí, llena de vida, por haber puesto en mi camino a personas grandiosas.

Primero quiero agradecer a mis padres, Eugenia y Octaviano, los cuales amo y aprecio mucho, a ellos les debo mi vida, mi formación, que desde un principio fueron los que estuvieron tras de mí en cada una de mis etapas educativas, llenándome de valores. Ellos me han dado gran ejemplo a lo largo de mi vida, me han dado dedicación y me han enseñado a superarme, sin dejarme vencer, aun con mis defectos e imperfecciones. Simplemente por ellos y para ellos.

Agradezco infinitamente a mis hermanos y a mi cuñado, primero que nada a mi hermana Aída y su esposo Joazet, los cuales estuvieron apoyándome en cada una de las dudas que me surgían, porque aparte de ser mi familia, también han sido mis maestros. Quiero agradecer a mi hermano Roberto, por estar ahí siempre para mí, por ser mi maestro, por ayudarme a superarme y mostrarme que todo, por más difícil que parezca, se puede hacer, por darme ánimos e impulsarme a obtener cada uno de mis objetivos. Quiero agradecer a mi hermana Coco, la cual estuvo siempre enseñándome lo bueno y lo malo, impulsándome a ser mejor persona y enseñándome a enfocarme en mis objetivos, mostrándome que por más que las personas te digan que "no", si yo me lo proponía podía con todo y hasta con más. Agradezco a mi hermano Luis, por ser aquella figura de padre que siempre he tenido, porque cuando me desviaba de mi camino, él estaba ahí para enderezarme y volverme a centrar, por ayudarme académicamente explicándome las dudas que tenía en mis materias. Agradezco a mi hermano Miguel por ser un ejemplo a seguir y por estar cada vez que lo necesitaba. En general, ellos son pilares fundamentales en mi formación académica, por lo que estoy muy agradecida con todos ellos.

Agradezco a mi novio Gian; él siempre estuvo para mí, por impulsarme en la escuela, por darme ánimos, él ha sido importante para mí y agradezco infinitamente su apoyo, por llevarme con él de la mano y darme las palabras de aliento que necesito; gracias por ayudarme a que nada se derrumbe y por levantarme cada que caía.

A mis sobrinas Anna y Emma, que, aunque son muy pequeñas para entenderlo, son parte importante de mi vida.

A mis amigos, que siempre estuvieron ahí en cada parte de mi formación, estaban para ayudarme y para impulsarme con cada uno de sus consejos.

Al Dr. Luis Octavio Negrete Sánchez, que desde el primer día que lo conocí se comportó como una persona humilde, al enseñarme lo que sabía; quiero agradecerle por estar siempre conmigo en cada uno de mis pasos, por estar pendiente en cada uno de los viajes o salidas a campo y no dejarnos solas, siempre aportando un conocimiento extra cada que estábamos con él, gracias porque él creyó en mí y me permitió formar parte de este gran proyecto y por lo cual estaré siempre agradecida.

Al Dr. Gregorio Álvarez Fuentes, él siempre estuvo para cualquier duda que tenía, apoyándose con su conocimiento, por apoyarme con el laboratorio, sin esperar nada a cambio, gracias infinitas.

A Quetzal Delgado Padierna, que, sin duda alguna, ella también es parte de este gran trabajo, por siempre estar apoyando y dándome ánimos, por estar conmigo aportando conocimientos, por ayudarme en el laboratorio y en mis salidas de campo, aun cuando ella ya no tenía que ir a la facultad, siempre estuvo ahí para mí.

Al señor Benjamín de la Rosa, por permitirme realizar este trabajo en su rancho, por confiar en nosotros y por brindarnos su apoyo siempre que teníamos que hacer muestreos en campo.

Al Dr. Héctor Aarón Lee Rangel, por abrirme las puertas en su equipo de trabajo y laboratorio, y por transmitirme sus conocimientos, explicándome siempre que tenía alguna duda.

Al equipo de laboratorio, Dr. Alejandro Roque, Julio y Karen, por siempre estar pendiente de mi trabajo, al explicar y transmitirme siempre sus conocimientos, gracias infinitas.

A mis tíos y tías por estar siempre ahí para mí, en especial a mi tío Gabriel por ayudarme siempre con lo que estaba a su alcance.

A Jesús y a Ariadna, que me apoyaron bastante en el trabajo de campo, sin ellos no hubiera sido posible todo.

A todos los que de una u otra forma han sido parte de mi formación.

A todos infinitas Gracias.

## CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA.....	VI
CRÉDITOS INSTITUCIONALES .....	VII
AGRADECIMIENTOS .....	VIII
CONTENIDO.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE CUADROS.....	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT .....	XVI
INTRODUCCIÓN .....	1
<u>  </u> Hipótesis.....	3
<u>  </u> Objetivo.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
MATERIALES Y MÉTODOS .....	10
<u>  </u> Área de Estudio .....	10
<u>  </u> Identificación de los Sitios de Agostadero .....	10
<u>  </u> Inventario Florístico y Recolección de Plantas .....	11
<u>  </u> Recolección de Heces.....	12
<u>  </u> Determinación de Materia Seca .....	14
<u>  </u> Determinaciones de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido.....	16
<u>  </u> Determinaciones de proteína y nitrógeno.....	16
<u>  </u> Determinación de Cenizas.....	17
<u>  </u> Diseño Experimental .....	17
RESULTADOS.....	18
<u>  </u> Clasificación no Supervisada .....	18
<u>  </u> Clasificación Supervisada de Cada Sitio de Agostadero .....	19
<u>  </u> Evaluación de la Vegetación .....	21
<u>  </u> Análisis Bromatológico de las Heces.....	23
<u>  </u> Evaluación Nutricional de Forrajes Seleccionados .....	27

DISCUSIÓN.....	33
CONCLUSIONES .....	36
LITERATURA CITADA.....	37
APÉNDICE 1 .....	40
APÉNDICE 2 .....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Esquema del metabolismo proteico en una vaca lechera (Adaptado de Owens y Zinn, 1988).....	23
2	Área de estudio, Rancho El Palmar, municipio de Charcas, S.L.P. 23°24'0"N, 101°20'0"W a 2,450 msnm .....	25
3	Recolecta de muestras de plantas forrajeras deseables presentes en cada sitio de agostadero del rancho El Palmar, Charcas, S.L.P. ....	26
4	Corte y almacenamiento de las especies forrajeras de interés en el rancho El Palmar, Charcas, S.L.P .....	27
5	Recolección de heces vía rectal de cada una de las cabezas de ganado identificadas, en el rancho El Palmar, Charcas, S.L.P.....	28
6	Toma del peso de la muestra y almacenamiento de las heces en contenedores con hielo para su conservación y transporte al IIZD.....	28
7	Muestras de heces en el horno de aire forzado para la determinación de la Materia Seca.....	29
8	Muestras de plantas forrajeras deseables identificadas y acomodadas en el horno de aire forzado.....	30
9	Muestras de heces y forraje secos y molidos, almacenados en envases de plástico con boca ancha.....	30
10	Diagrama ombrotérmico de la estación climatológica Charcas, San Luis Potosí.....	33
11	Plano de clasificación no supervisada del rancho El Palmar .....	34
12	Sitio 1. Matorral desértico micrófilo, rancho El Palmar, Charcas, S.L.P .....	35
13	Sitio 2. Ecotono entre matorral desértico micrófilo y rosetófilo, rancho El Palmar, Charcas, S.L.P.....	36
14	Sitio 3, Zacatal de <i>Bouteloua gracilis</i> , rancho El Palmar, Charcas, S.L.P .....	36

15	Levantamiento del inventario florístico de las plantas presentes en cada sitio de agostadero.....	37
16	Porcentajes medios de materia seca contenida en las heces por sitio de agostadero, según época del año.....	39
17	Porcentajes medios de Fibra Detergente Neutro y Fibra Detergente Ácido en las heces por sitio de agostadero, según época del año.....	40
18	Porcentaje de cenizas por sitio de agostadero, según la época del año .....	41
19	Porcentajes medios de proteína cruda en heces por sitio de agostadero, según época del año.....	42
20	Porcentajes medios de materia seca de las plantas forrajeras evaluadas del rancho El Palmar.....	43
21	Porcentaje de fibra neutro detergente y fibra ácido detergente de las plantas forrajeras evaluadas del rancho El Palmar. ....	44
22	Porcentaje de cenizas de las plantas forrajeras evauadas en el Rancho El Palmar.....	45
23	Porcentaje de proteína cruda de las plantas forrajeras evaluadas en el rancho El Palmar.....	46

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	Especies registradas durante el levantamiento del inventario florístico por sitio de agostadero y estrato.....	38
2	Plantas forrajeras agrupadas de acuerdo con su valor forrajero por sitio de agostadero.....	38

## RESUMEN

Este estudio se realizó en tres sitios de agostadero identificados del rancho El Palmar, Charcas, SLP. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la calidad de la dieta y los requerimientos de suplementación de ganado bovino para carne en pastoreo en agostaderos semidesérticos del altiplano potosino durante las épocas húmeda y seca del año. Entre agosto y octubre de 2021, se llevó a cabo un proceso de clasificación no supervisada a una imagen de satélite Landsat, mediante Arc-GIS v. 10, con cinco clases, que luego se supervisaron con recorridos de campo que permitieron identificar tres sitios de agostadero de interés para el estudio: matorral desértico micrófilo (MDM), el ecotono del matorral desértico micrófilo y matorral desértico rosetófilo (MDM-MDR), y el zacatal de *Bouteloua gracilis* (ZBG) en los que se alimenta el hato base. De estos tres sitios de agostadero se registraron todas las especies de plantas perennes presentes. El más diverso fue el ecotono MDM-MDR con 42 especies, seguido del ZBG con 28 y por último el MDM con 22 especies en total. También, se recolectaron muestras de 11 plantas forrajeras deseables para realizar su análisis proximal. Durante septiembre de 2021 (época húmeda del año), y durante mayo de 2022 (época seca del año) a cinco vacas de vientre alimentadas en cada uno de los sitios de agostadero se les recolectaron heces vía rectal, para realizar su análisis. Tanto las muestras de heces y forrajes se secaron en un horno de aire forzado a 60° C durante 24 h, para determinar materia seca, luego fueron molidas y almacenadas en envases de plástico para realizar el resto de los análisis. A las heces se les determinó además fibra neutro detergente y fibra ácido detergente, también nitrógeno y proteína cruda por el método Kjeldahl, así como materia orgánica y cenizas, para contrastar la calidad de la dieta y los requerimientos de suplementación alimenticia en ambas épocas del año.

Palabras clave: Sitio de agostadero, calidad forrajera de las especies, épocas húmeda y seca del año.

## ABSTRACT

This study was carried out in three identified rangeland sites of the El Palmar ranch, Charcas, SLP. The objective of this research was to evaluate the diet quality and supplementation requirements of beef cattle grazing in semi-desert rangelands of the Potosí highlands during the wet and dry seasons of the year. Between August and October 2021, an unsupervised classification process was carried out on a Landsat satellite image, using Arc-GIS v. 10, with five classes, which were supervised with field trips and three range sites of interest for the study were identified: microphyllous desert scrub (MDM), the ecotone of the microphyllous desert scrub and rosetophyllous desert scrub (MDM-MDR), and the grass of *Bouteloua gracilis* (ZBG) in which the base herd of the aforementioned ranch feeds. In the three range sites, all the perennial species present were identified. The most diverse was the MDM-MDR ecotone with 42 species, followed by the ZBG with 28 and finally the MDM with 22 species in total. Also, samples of 11 desirable forage species were collected to carry out their proximal analysis. During September 2021 (wet season of the year), and during May 2022 (dry season of the year), feces were collected rectally from five calf cows fed at each of the range sites for analysis. The feces and forage samples were dried in a forced-air oven at 60°C for 24 h, to determine dry matter, then they were ground and stored in plastic containers to perform the rest of the analyses. Neutral detergent fiber and acid detergent fiber were determined in the faeces, as well as nitrogen and crude protein by the Kjeldahl method, as well as organic matter and ashes, to contrast the quality of the diet and the food supplementation requirements in both seasons of the year.

Keywords: rangeland site, forage quality of the species, wet and dry seasons of the year,

## INTRODUCCIÓN

Todas las áreas del mundo que no están cubiertas por cultivos, suelo desnudo, roca, hielo, concreto o son desiertos, pueden clasificarse como agostaderos (Holechek *et al.*, 2011). Éstas incluyen matorrales, bosques subhúmedos y todos los pastizales naturales. Son áreas de baja productividad potencial debido a limitaciones físicas y, por lo tanto, no son adecuadas para el cultivo (Holechek *et al.*, 2011).

Aunque a nivel internacional durante los recientes 40 años se ha generado una cantidad importante de información sobre la situación nutricional del ganado en diversos tipos de agostaderos, en México todavía son escasos los estudios a este respecto. Así, dentro y entre distintos tipos de agostaderos ocurren grandes diferencias en la disponibilidad de forraje, sobre todo con los cambios de estación, esto es debido a que la duración de la temporada de crecimiento difiere entre los distintos tipos de agostaderos (Holechek *et al.*, 2011).

La información disponible coincide en mostrar que la dieta del ganado bovino para carne en agostaderos tiene por lo general niveles de proteína cruda que van de 10 a 12 %, cuando el forraje está en crecimiento. En tanto que, durante el periodo de dormancia de los zacates, los niveles de proteína cruda disminuyen hasta a 4 a 7 por ciento (Holechek *et al.*, 2011). Como consecuencia, los valores de digestibilidad de la dieta para el ganado durante el periodo activo de crecimiento en la mayoría de los tipos de agostaderos supera 50%, mientras que durante la dormancia se queda por debajo de ese nivel (Holechek *et al.*, 2011).

El sistema de producción de ganado bovino para carne inicia en los agostaderos con un hato base formado por vacas de vientre y sementales que producen becerros, los cuales son destetados aproximadamente a los seis o siete meses de edad y que posteriormente pueden ser enviados a corrales donde son lotificados de manera homogénea y luego alimentados con dietas de finalización para su venta al sacrificio (INEGI, 2003). Cabe mencionar que la nutrición del ganado bovino en agostaderos difiere totalmente de la nutrición animal convencional, pues involucra manejo de la tierra, más que la formulación de raciones (Holechek *et al.*, 2011).

Los requerimientos del ganado en pastoreo son más difíciles de determinar que los de los animales confinados, porque hay que añadir la energía necesaria para desplazarse y enfrentar factores medioambientales como el viento, calor y frío excesivo (Holechek *et al.*, 2011). Recientemente se dispone de trabajos de investigación que incrementan el conocimiento de la respuesta nutricional de los rumiantes al pastoreo de zacates, herbáceas y arbustos.

La discusión se enfoca en los valores de energía y proteína de los forrajes de los agostaderos, porque estos dos nutrientes son usualmente los más limitantes en la producción animal en agostaderos, y los más caros de aportar en programas de suplementación (Holechek *et al.*, 2011).

Aunque hay abundantes resultados de análisis químicos de distintos forrajes de los agostaderos, todavía, son pocos los que comparan zacates, hierbas y arbustos nativos. Con dicha información se reconoce que cuando el forraje está en dormancia, los arbustos siempre verdes son generalmente más altos en contenido de PC, fósforo y carbohidratos solubles (de Alba, 1971; Holechek *et al.*, 2011). de Alba (1971), señaló que la nutrición de animales en libre pastoreo es muy distinta a la que le aporta el ser humano a través de muestras cosechadas a mano o por máquinas; para él, la gran diferencia radica en que los animales se ven obligados a seleccionar su propio forraje, originado por el lugar que pastorean, lo que se afecta por diferentes razones como: la extensión del potrero, su composición florística, la carga animal con otros individuos de su misma especie o con algún otro tipo de animales, además debe siempre considerarse el gasto de energía incluido para desplazarse a distancias relativamente largas y con diferentes grados de pendiente.

También indicó que en la década de los 60's del siglo pasado se utilizaba el método de fístula ruminal, para poder conocer la alimentación de un animal en pastoreo, y del comportamiento de las praderas y sitios de agostadero. Asimismo, mencionó que además de los animales fistulados para ciertos estudios de consumo, composición y digestibilidad del forraje de agostaderos se tenía la alternativa del uso de técnicas de indicadores, que consideran el cálculo del consumo por medio de la determinación del indicador de la indigestibilidad y el total de heces producidas.

Yayota; et al, (2017) por su parte, propusieron un método de observación directa de la alimentación de cabras y ovejas para evaluar la ingestión mediante los bocados de una

gama de diversas plantas en dos distintos sitios de agostadero, descritos como un pastizal invadido por arbustos, y un bosque de encinos también invadido por arbustos, sin embargo, este método requiere mucho tiempo de dedicación a la observación y seguimiento por personal calificado. Por otra parte, en años recientes el análisis de heces ha mostrado potencial como una herramienta rápida y práctica para determinar los periodos cuando es necesaria la suplementación de los rumiantes con proteína (Lyons, 1992). Las concentraciones de nitrógeno en heces se relacionan directamente con el estado nutricional de los rumiantes (Holechek et al., 1982; Squires y Sierbet, 1983). La concentración de nitrógeno en la materia orgánica de las heces de rumiantes muestra una fuerte asociación lineal con el contenido de proteína cruda de la dieta. Distintas investigaciones indican que cuando el contenido de nitrógeno de la materia orgánica fecal disminuye por debajo de 1.4%, el ganado pierde peso debido al inadecuado contenido de proteína de la dieta que no supera el 6.0% (Holechek et al., 1982; Squires y Sierbet, 1983). En México no se ha realizado investigación al respecto, y menos en agostaderos de zonas áridas y semiáridas. Por lo anterior el presente estudio está justificado y sugiere lo siguiente:

### **Hipótesis**

La calidad de la dieta y las necesidades de suplementación durante las épocas húmeda y seca del año del ganado bovino que pastorea agostaderos de matorrales áridos y semiáridos, pueden evaluarse mediante el contenido del nitrógeno fecal.

### **Objetivo**

Evaluar la calidad de la dieta y los requerimientos de suplementación de bovinos para carne en pastoreo durante las épocas húmeda y seca del año en agostaderos de matorrales desérticos del altiplano potosino, a través de la determinación del nitrógeno en las heces y determinar el perfil nutricional de las principales plantas forrajeras deseables presentes en los sitios de agostadero en estudio.

## REVISIÓN DE LITERATURA

Los agostaderos son sistemas pecuarios de aprovechamiento de recursos naturales espontáneos, que en México incluyen todos los zacatales naturales que, en antaño corrían de los Altos de Jalisco hasta el estado de Chihuahua, todos los tipos de matorrales y los bosques subhúmedos (Rzedowski, 1965; Holechek *et al.*, 2011). La principal importancia de los agostaderos en el mundo es que ocupan más que 50% de la superficie terrestre (Holechek *et al.*, 2011). Esta cifra porcentual es similar a la encontrada a nivel nacional y a la del estado de San Luis Potosí (CONAZA, 1994).

Los agostaderos se caracterizan por ser tierras con productividad orgánica y rentabilidad baja, asimismo, en México, hay una demanda constante de forraje ya que el ganado permanece en ellos durante todo el año, y la disponibilidad es temporal, sobre todo durante el periodo de lluvias, que en la porción sur del Desierto Chihuahuense abarca los meses de mayo a noviembre. Derivado de ello, está extendido el sobrepastoreo por mal manejo en casi la totalidad de las propiedades sociales y hasta un 80% de los ranchos privados (FIRA, 1994). Las tierras de pastoreo son un recurso natural renovable, que, manejadas de manera racional producen y son ambientalmente estables de manera indefinida (Bolaños y Aguirre, 2000). Lamentablemente, el abuso creciente de estas tierras en el altiplano potosino es muy evidente, y la muerte del ganado durante las sequías es su única oportunidad ocasional para su recuperación temporal (Negrete *et al.*, 2016).

Los factores que impactan en mayor medida la situación nutricional del ganado en agostaderos son la carga animal, el sistema de pastoreo, los tipos de especies forrajeras presentes, el tipo de animal y la temporada de uso. Además, se puede echar mano del uso del fuego, fertilización, pastos sembrados, control de plantas indeseables y suplementos alimenticios como otros factores comúnmente utilizados para manipular el estado nutricional del ganado en agostaderos (Holechek *et al.*, 2011). Aunque en los EE. UU. se ha generado información sobre el manejo de agostaderos desde principios del siglo XX, esto ha sido más notable durante los más recientes 50 años, con avances importantes sobre la situación nutricional del ganado en diversos tipos de agostaderos; en contraste, en México son escasos los estudios a este respecto.

Cabe resaltar que dentro y entre distintos tipos de agostaderos ocurren grandes diferencias en la disponibilidad de forraje, sobre todo con los cambios de estación, esto es debido a que la duración de la temporada de crecimiento de los forrajes difiere entre los distintos tipos de agostaderos (Holechek *et al.*, 2011).

El consumo de forraje por el ganado en pastoreo varía con el peso corporal, así como con su disponibilidad. Diferentes estudios coinciden en que el consumo de materia seca de los animales en pastoreo es en promedio entre el 2 y 3% de su peso vivo, sin embargo, puede variar a través de las estaciones del año, llegando a ser sólo del 1% durante periodos en que la calidad y disponibilidad del forraje es baja; por otra parte, puede superar el 2.5% cuando se dispone de forraje de buena calidad (Rodas y Sharrow, 1990; Holechek *et al.*, 2011).

Las hojas de casi todos los forrajes tienen niveles altos de proteína cruda, fósforo, y carbohidratos solubles, y niveles bajos de fibra cruda y lignina comparados con el contenido de los tallos. Los tallos de las plantas leñosas son particularmente bajos en calidad por el nivel de lignina que contienen. Estudios con zacates han mostrado que los rumiantes tienen consumos voluntarios más altos de hojas que de tallos. Por su parte, frutos y flores de hierbas y arbustos contienen por lo general niveles más altos de proteína y carbohidratos solubles que las hojas.

Asimismo, los rebrotes de las arbustivas son ricos en PC y carbohidratos solubles, mientras que las semillas de los zacates contienen más PC y carbohidratos solubles que las hojas. Sin embargo, como fuentes de proteína y energía, las semillas de la mayoría de los zacates de los agostaderos son inferiores a las flores y frutos de las hierbas y arbustos (Rodas y Sharrow, 1990; Holechek *et al.*, 2011).

Como consecuencia de lo anterior, la calidad nutricional del forraje de la mayoría de los agostaderos varía significativamente entre temporadas. Los niveles de carbohidratos solubles, PC, y fósforo son más altos durante el crecimiento activo de los forrajes, y declinan fuertemente conforme las plantas entran en dormancia. Estas disminuciones ocurren cuando los nutrientes se translocan de las hojas y los tallos, a las coronas y las raíces al iniciar dicho periodo de latencia (Rodas y Sharrow, 1990; Holechek *et al.*, 2011). Por lo general en los agostaderos ocurre que conforme se incrementa la intensidad de pastoreo hay una disminución progresiva en el valor nutricional tanto del forraje

consumido, como del que queda como remanente. Esto ocurre porque los animales en pastoreo típicamente seleccionan las partes más nutritivas de las plantas. Por otra parte, los rebrotes que aparecen después de la defoliación son más nutritivos que el forraje maduro no consumido (Rodas y Sharrow, 1990). Por su parte, las hojas y los tallos de los zacates son altos en celulosa y bajos en concentraciones de lignina respecto al follaje, así como los frutos y hojas de las herbáceas y arbustivas en etapas fenológicas similares (Rodas y Sharrow, 1990; Holechek *et al.*, 2011).

En México y en el altiplano potosino las cargas animales medias actuales en la mayoría de los ranchos de propiedad privada pueden considerarse relativamente pesadas, aunque también hay algunos ganaderos que mantienen cargas moderadas, con resultados relevantes en sus indicadores de reproducción y producción de sus hatos (CONAZA, 1994; Aguirre *et al.*, 2023). En algunos de estos ranchos hay diferencias visuales desde sutiles a muy marcadas, en la estructura de la vegetación y el estado de la superficie del suelo (Lara *et al.*, 2016; Negrete *et al.*, 2016; Aguirre *et al.*, 2023). Aproximadamente el 80% de los agostaderos de los ranchos privados y el 95% de los correspondientes a las propiedades sociales del altiplano potosino y del resto del Desierto Chihuahuense, presentan abuso severo y generalizado, ocasionado por el sobrepastoreo como consecuencia del desequilibrio registrado entre la capacidad de carga y la carga animal (CONAZA, 1994).

Los agostaderos son un ecosistema complejo, en el cual todo arranca gracias a la radiación solar. Los organismos productores elaboran compuestos orgánicos básicos que a su vez son aprovechados por los consumidores primarios (Holechek, 2011). En su evolución, las plantas desarrollaron sistemas de protección que se destinan a asegurar su propia sobrevivencia. Entre éstos, se tienen mecanismos físicos y químicos que las hacen tolerantes al ataque y/o la defoliación por parte de organismos heterotróficos (bacterias, hongos y animales) (Van Soest, 1982). Derivado de lo anterior, la adaptación y evolución de los herbívoros siguió a la de las plantas.

Las estructuras vegetales orientaron el proceso evolutivo de los sistemas enzimáticos requeridos para su degradación por parte de los organismos heterótrofos. De esta evolución surgieron los rumiantes, por mucho el grupo de mamíferos herbívoros más numeroso y exitoso que actualmente existe (Owens y Zinn, 1988). De manera paralela

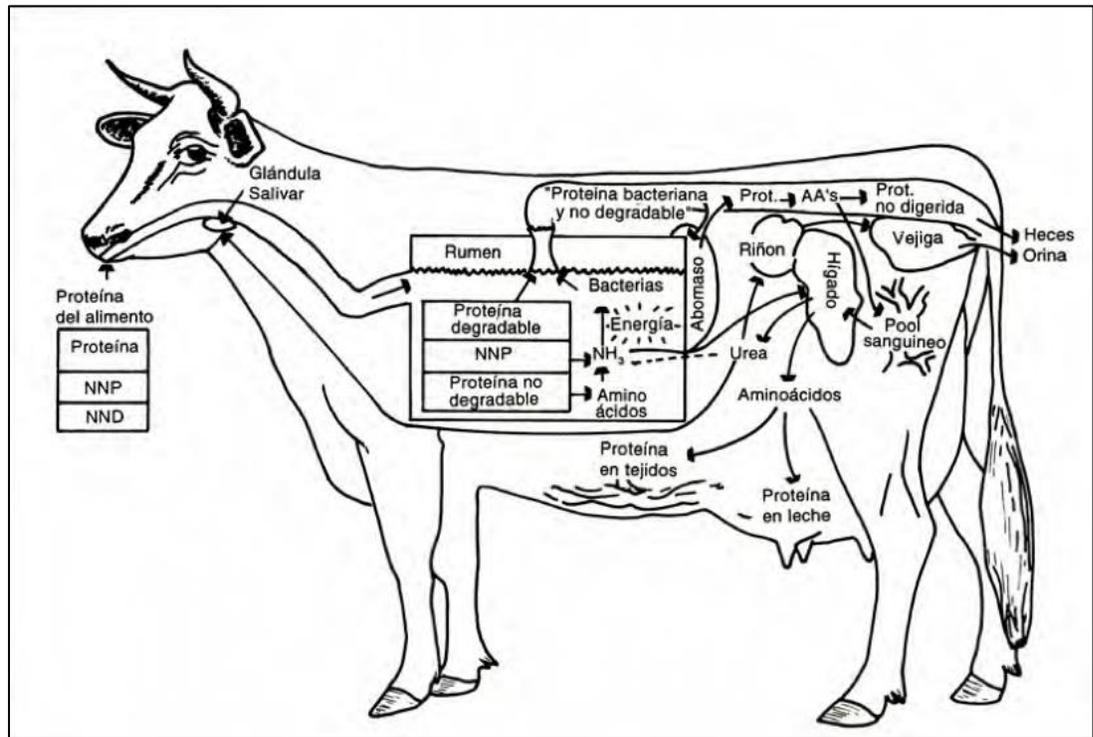
dentro de la evolución de los organismos autótrofos y heterótrofos, el mayor incremento en las especies e individuos de rumiantes tuvo lugar durante el periodo terciario, que coincidió con el mayor desarrollo y dispersión de las especies de zacates y vegetales afines (Van Soest, 1982). Ecológicamente los rumiantes tienen la ventaja de su adaptación anatómica y fisiológica del tracto digestivo, que a través de una microbiota ahí presente, les permite una predigestión microbiana (fermentación) de los alimentos fibrosos, y la utilización de carbohidratos estructurales como la celulosa y de compuestos nitrogenados, no necesariamente proteicos, para completar sus requerimientos de energía y proteína respectivamente (Owens y Zinn, 1988).

Al no competir con el ser humano por sus mismas fuentes de alimento, los rumiantes son los compañeros más apropiados para el hombre pues son capaces de transformar para su aprovechamiento los forrajes en carne, pieles, fibras, leche y energía para tracción (Owens y Zinn, 1988). Es así como, dentro del metabolismo proteico de los rumiantes se debe tener en cuenta que el nitrógeno es un elemento fundamental dentro del metabolismo de los seres vivos, pues forma parte de diversos compuestos esenciales del organismo como aminoácidos, ácidos nucleicos, enzimas, cofactores, etc., y que al constituir los aminoácidos juega también un rol fundamental en el metabolismo proteico (Stern *et al*, 1993).

La proteína es un macronutriente requerido por el ganado tanto para mantenimiento como para crecimiento, reproducción o lactancia, y es de tal importancia que, en cualquiera de los sistemas pecuarios productivos, sólo el requerimiento de energía supera al de proteína (Chalupa y Ferguson, 1988). En cuanto al metabolismo proteico, los rumiantes sobresalen por su capacidad única de poder subsistir y aún ser productivos sin una fuente de proteína dietética verdadera, gracias a la síntesis de proteína microbiana que ocurre en el rumen (Virtanen, 1966). Bajo condiciones normales, los microorganismos del rumen y la porción de la proteína verdadera del alimento que escapa a la degradación ruminal proveen al intestino delgado de la proteína necesaria para nutrir al rumiante (Chalupa y Ferguson, 1988; Stern *et al*, 1993). Los procesos de digestión intestinal de la proteína y posterior metabolismo tras su absorción son prácticamente similares en rumiantes y no rumiantes, lo que convierte al metabolismo del nitrógeno en el rumen,

una característica diferencial de alto interés en nutrición proteica de rumiantes (Stern et al, 1993).

El metabolismo proteico de un rumiante se muestra en forma esquemática en la figura 1. El análisis de este esquema permite observar al rumen como un sistema, consistente en tres grupos de componentes básicos: los insumos (el alimento), los procesos (las interacciones entre componentes) y los productos ( tejidos desechados, producción de leche, productos excretados, etc.).



**Figura 1.** Esquema del metabolismo proteico en una vaca lechera (Adaptado de Owens y Zinn, 1988).

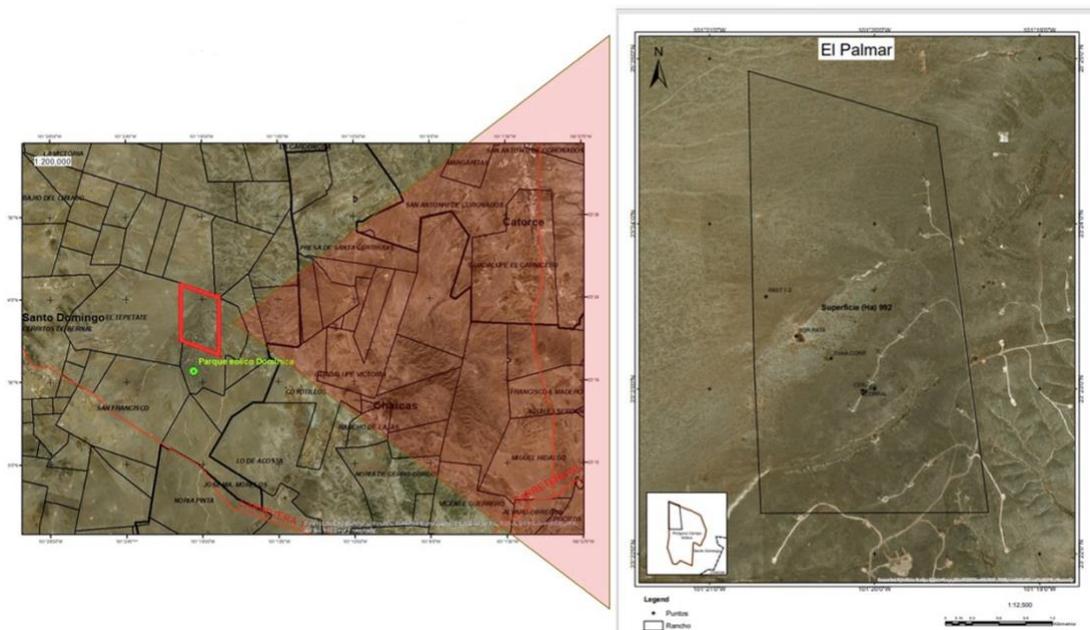
Los rumiantes mediante la síntesis de proteína microbiana ruminal, tienen la opción de hacer uso de diversas fuentes de nitrógeno para completar una parte significativa de sus requerimientos proteicos. Los microorganismos del rumen tienen la posibilidad de sintetizar proteína, siempre y cuando haya nitrógeno disponible y no haya limitantes en la energía de la dieta. En distintos trabajos de investigación correspondientes a alimentación se indica que 72% de la variación registrada del aporte de proteína microbiana al intestino del animal fue explicada por la cantidad de energía disponible en el rumen de las dietas

estudiadas (Chalupa y Ferguson, 1988). En el pasado reciente se han realizado diversos trabajos para determinar la calidad de la dieta de los rumiantes en pastoreo mediante diversas herramientas como han sido el uso de fístulas esofágicas y ruminales, la técnica de indicadores, los métodos de observación directa, así como la evaluación del nitrógeno presente en la materia orgánica de las heces. Todos estos trabajos de investigación persiguen la posibilidad de evaluar la calidad de la dieta y las necesidades de suplementación de rumiantes, particularmente los bovinos para carne en pastoreo (Rodas y Sharrow, 1990; Holechek *et al.*, 2011).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el rancho El Palmar, municipio de Charcas, S.L.P., con una superficie de 992 ha. En este rancho debido a la instalación de un parque eólico de 2009 a 2019 se excluyó el pastoreo de ganado, el cual fue reintroducido en 2019.



**Figura 2.** Área de estudio, Rancho El Palmar, municipio de Charcas, S.L.P. 23°24'0"N, 101°20'0"W a 2,450 msnm.

### Identificación de los Sitios de Agostadero

Con base en una imagen de satélite LANDSAT de septiembre de 2020, se procedió en octubre del 2020 a realizar un proceso de clasificación no supervisada en ARC GIS® v. 2010 (ESRI, 2008) con cinco clases, para identificar los distintos tipos de vegetación existentes en el rancho El Palmar; posteriormente mediante el plano de clasificación no supervisada, las cartas temáticas del INEGI (2007) y con recorridos de campo se reconocieron los tres sitios de agostadero de interés para nuestro el estudio.

### **Inventario Florístico y Recolecta de Plantas**

Posterior a la correcta identificación de cada uno de los sitios de interés para el trabajo de investigación, en la parte más preponderante de la vegetación de cada sitio de agostadero de interés para el estudio se realizó un recorrido en línea recta por 500 m para identificar el total de especies perennes presentes y, luego se recolectaron muestras de once plantas forrajeras deseables, para determinar su perfil nutricional y con ello enriquecer el trabajo de investigación (fig. 3).



**Figura 3.** Recolecta de muestras de plantas forrajeras deseables presentes en cada sitio de agostadero del rancho El Palmar, Charcas, S.L.P.

De las once plantas forrajeras deseables encontradas en los tres sitios de agostadero en estudio se obtuvieron muestras para su análisis bromatológico, se cortaron por encima de la raíz, simulando la porción que el ganado consume, enseguida las muestras fueron pesadas en campo en una báscula digital de acero inoxidable (T-fal, BC5004V1, 2021) y almacenadas en bolsas de papel para su posterior análisis en el laboratorio de Ciencia Animal del Instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la UASLP (fig. 4).



**Figura 4.** Corte y almacenamiento de las especies forrajeras de interés en el rancho El Palmar, Charcas, S.L.P.

### **Recolección de Heces**

Durante los meses de septiembre de 2021 (época húmeda del año) y mayo de 2022 (época seca del año), a cinco vacas de vientre identificadas perfectamente y que pastoreaban en cada uno de los tres sitios de agostadero de interés para el estudio, se les recolectó vía rectal, una muestra de 100-250 gr de heces (fig. 5), las cuales al ser recolectadas, se pesaron en una báscula digital de acero inoxidable (T-fal, BC5004V1, 2021) y se almacenaron en los propios guantes de palpación (fig. 6), con el fin de que la muestra no fuera contaminada por algún agente externo, para enseguida identificarlas con una etiqueta y conservarlas inmediatamente en hielo para su traslado al laboratorio de ciencia animal del IIZD, y realizar sus análisis.



**Figura 5.** Recolección de heces vía rectal de cada una de las cabezas de ganado identificadas, en el rancho El Palmar, Charcas, S.L.P.



**Figura 6.** Toma del peso de la muestra y almacenamiento de las heces en contenedores con hielo para su conservación y transporte al IIZD.

### **Determinación de Materia Seca**

En el laboratorio de ciencia animal del IIZD, a cada una de las 15 muestras de heces recolectadas se les determinó su contenido de materia seca (MS) mediante un horno de aire forzado Shel Lab, de la marca Sheldon Manufacturing, en el que fueron colocadas a 60° C durante 24 horas (fig. 7). Por otra parte, las muestras de cada una de las plantas forrajeras deseables se secaron en bolsas de papel durante cinco días y al sexto día se metieron también al horno de aire forzado a 60 °C durante 24 h para determinar su contenido de MS (fig. 8). Tras ser pesadas antes y después de introducirlas al horno de aire forzado para obtener su contenido de MS, las muestras tanto de heces como de forrajes se molieron en un molino (THOMAS-Wiley model 4) con una criba de 2 mm, luego se depositaron en envases de plástico de boca ancha para facilitar la realización del resto de los análisis (fig. 9).



**Figura 7.** Muestras de heces en el horno de aire forzado para la determinación de la Materia Seca.



**Figura 8.** Muestras de plantas forrajeras deseables identificadas y acomodadas en el horno de aire forzado.



**Figura 9.** Muestras de heces y forraje secos y molidos, almacenados en envases de plástico con boca ancha.

## **Determinaciones de Fibra Detergente Neutro y Fibra Detergente Ácido**

Mediante el método del detergente neutro se puede evaluar de forma rápida la fibra total contenida en los forrajes. Separa de la materia seca de los alimentos los constituyentes solubles y nutricionalmente disponibles (98%) de los que son utilizados de forma incompleta y que dependen de la fermentación microbiana para su degradación parcial (Melgarejo, 1995).

Los valores de la fibra detergente neutro (FDN) son importantes ya que reflejan de alguna manera la cantidad de forraje que puede consumir el animal. A medida que aumenta el porcentaje de la FDN, la ingesta de materia seca por lo general se reduce (Owens y Zinn, 1988).

Asimismo, otra parte de la fibra de los forrajes se determina por el método ácido-detergente. Éste permite una pronta determinación del contenido de lignina-celulosa. Cabe mencionar que en esta parte además aparece el sílice. La estimación del contenido de hemicelulosa se logra mediante la diferencia entre el valor de las paredes celulares y la FDA, pues dicha diferencia además incluye una fracción de proteína que está adherida a las paredes celulares. Este método es también empleado previo a la determinación de la lignina. El método logra calcular el porcentaje de FDA en base parcialmente seco o tal como el forraje es ofrecido (Laredo, 1979).

## **Determinaciones de Proteína y Nitrógeno**

El método de Kjeldahl para determinar proteína y nitrógeno requiere de la conversión de proteína-nitrógeno a sulfato ácido de amonio a través de la digestión de la materia orgánica con ácido sulfúrico y calor, en la presencia de un catalizador (A.O.A.C., 1975). Luego que la materia orgánica es desintegrada completamente, la solución es neutralizada con hidróxido de sodio, hay liberación de amoníaco el cual es destilado por arrastre con vapor mediante una solución de ácido bórico, para formar un complejo boro-amoniaco (tetraborato de amonio).

La cantidad del nitrógeno se determina cuando una solución de ácido previamente valorado (ácido clorhídrico al 0.1 N) es añadido a la solución para formar por cada equivalente de boro-amoniaco, un equivalente del sulfato-amoniaco (sulfato de amonio). En esta etapa, 1 ml del ácido estandarizado neutraliza 0.014 g de nitrógeno en forma de ión

amonio. La exactitud para determinar la proteína-nitrógeno se basa en el peso de la muestra original, el volumen y la concentración del ácido estándar usado (A.O.A.C. 1975).

### **Determinación de Cenizas**

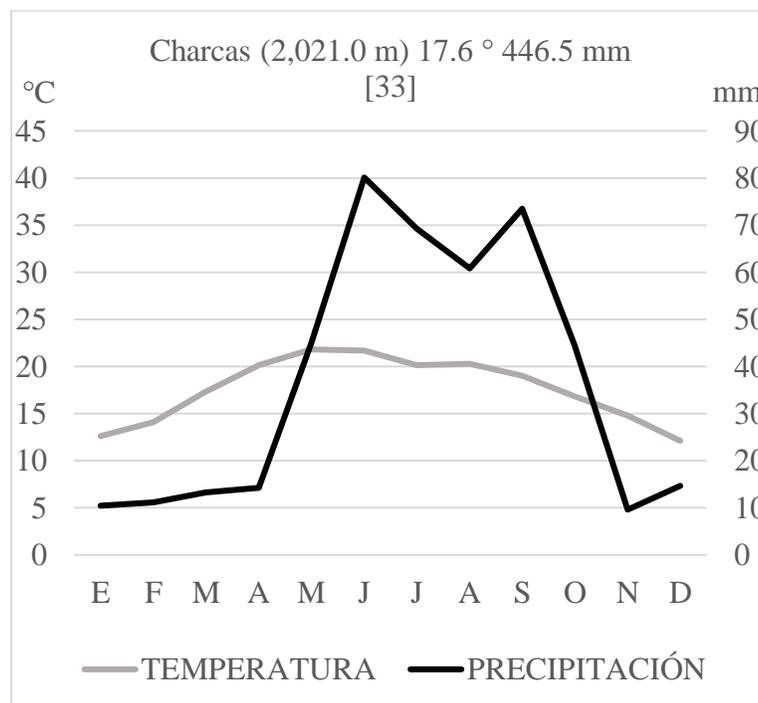
Según la A.O.A.C. en 1975, cuando una muestra es sometida a una temperatura entre 550 y 600° C, toda la materia orgánica en general se quema. La materia inorgánica, o cenizas, no se volatiliza a estas temperaturas por lo que queda como residuo.

### **Diseño Experimental**

Para evaluar el nitrógeno fecal y la calidad de la dieta se utilizó un diseño experimental completamente aleatorio, con las épocas húmeda y seca y los tres sitios de agostadero de interés para el estudio en un arreglo factorial (2 X 3), y se analizaron mediante el procedimiento GLM de SAS (Statistical Analysis System, 1999), con un nivel de significancia de  $P < 0.05$ ; posteriormente se llevó a cabo la prueba de contrastes de Tukey, para la comparación de medias de los resultados de cada sitio de agostadero.

## RESULTADOS

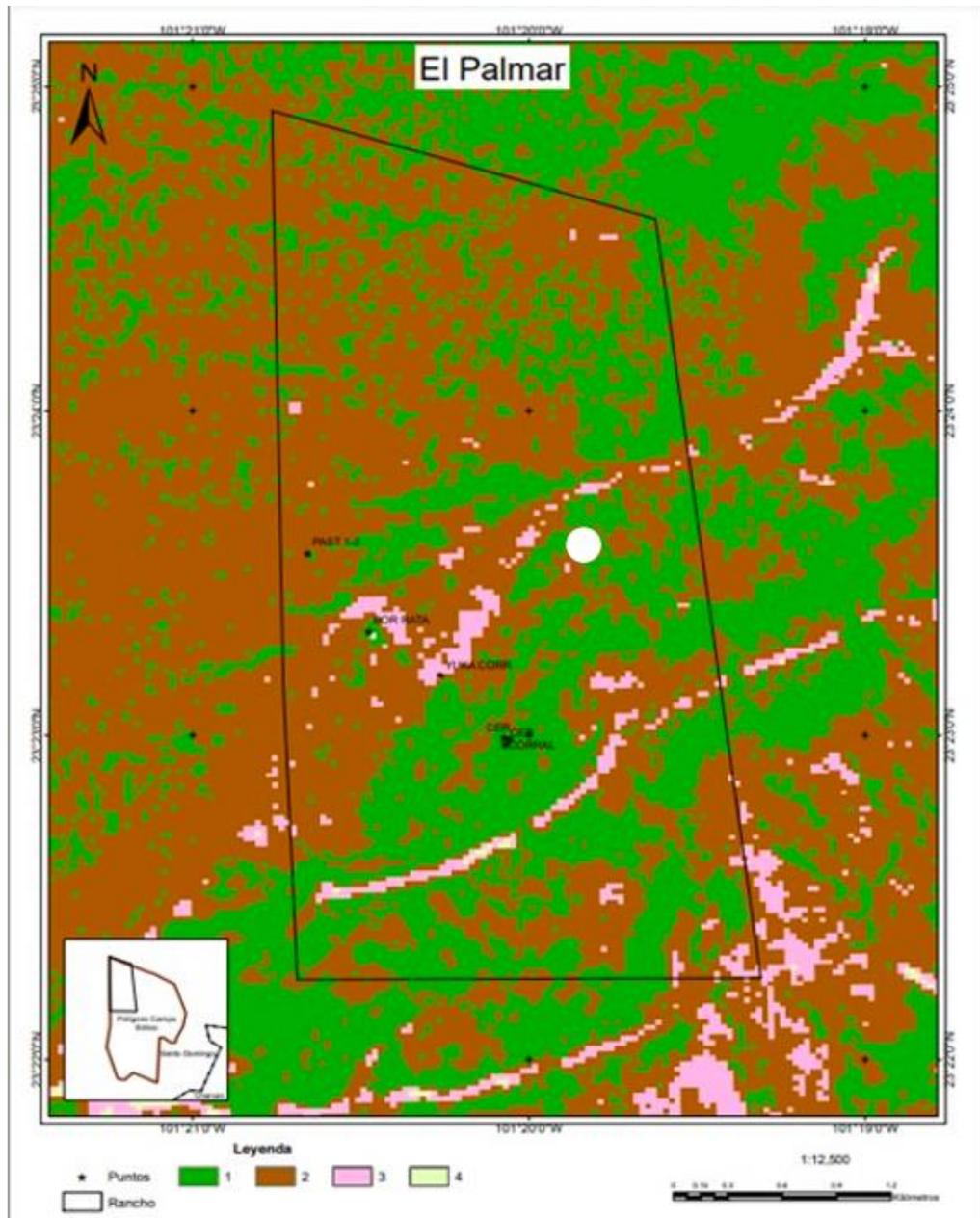
Las épocas húmeda y seca del año en el rancho El Palmar están muy definidas y se observan en el diagrama ombrotérmico elaborado con los registros de temperatura y precipitación de la estación climatológica Charcas, municipio de Charcas, San Luis Potosí, elaborado a partir de 33 años de registros (CNA, 2021), y que nos permitió reconocer que el periodo húmedo del año abarca los meses de mayo a octubre, en tanto que el periodo seco se presenta entre noviembre y abril (fig. 10).



**Figura 10.** Diagrama ombrotérmico de la estación climatológica Charcas, Charcas, San Luis Potosí.

### Clasificación no Supervisada

A una imagen de satélite Landsat de septiembre de 2020 se le realizó un proceso de clasificación no supervisada con cinco clases mediante Arc gis v. 2010, el cual arrojó cuatro clases de vegetación, de las que sólo tres fueron de interés para el estudio, pues el matorral desértico rosetófilo no es accesible para los bovinos debido a la pendiente pronunciada que presenta (fig. 11).



**Figura 11.** Plano de clasificación no supervisada del rancho El Palmar.

### **Clasificación Supervisada de Cada Sitio de Agostadero**

Una vez obtenido el plano de clasificación no supervisada, se realizó posteriormente la clasificación supervisada en campo de cada uno de los sitios de agostadero en estudio y de interés para la investigación mediante recorridos de campo y con el apoyo de las cartas temáticas del INEGI (2007). Se reconocieron tres sitios de agostadero en el rancho

El Palmar en los que se realiza el pastoreo mediante ganado bovino de interés para la investigación, los cuales fueron: 1) Matorral desértico micrófilo MDM (fig. 30), 2) Ecotono entre matorral desértico micrófilo y matorral desértico rosetófilo MDM-MDR (fig. 31) y 3) Zacatal de *Bouteloua gracilis* ZBG (fig.32).



**Figura 12.** Sitio 1, Matorral desértico micrófilo, rancho El Palmar, Charcas, S.L.P.



**Figura 13.** Sitio 2, Ecotono entre matorral desértico micrófilo y rosetófilo, rancho El Palmar, Charcas, S.L.P.



**Figura 14.** Sitio 3, Zacatal de *Bouteloua gracilis*, rancho El Palmar, Charcas, S.L.P.

## **Evaluación de la Vegetación**

### **Inventario florístico**

Durante la segunda mitad del periodo de crecimiento (agosto a octubre de 2021) en cada uno de los tres sitios de agostadero identificados tras la clasificación supervisada, se levantó el inventario florístico correspondiente (fig. 15) para poder así identificar las plantas perennes presentes y clasificarlas de acuerdo con su forma vital en herbáceas, zacates, arbustivas inferiores, arbustivas superiores y arborescencias.



**Figura 15.** Levantamiento del inventario florístico de las plantas presentes en cada sitio de agostadero.

En cada sitio de agostadero de interés para el estudio, se identificó su composición florística. También se clasificaron sus especies de acuerdo con el estrato que ocupan y su valor forrajero (Cuadro 1). El ecotono entre el matorral desértico micrófilo y matorral desértico rosetófilo registró el mayor número de especies presentes de los tres sitios de agostadero; en contraste, la menor diversidad de especies se encontró en el matorral desértico micrófilo.

**Cuadro 1.** Especies registradas durante el levantamiento del inventario florístico por sitio de agostadero y estrato.

Sitio de agostadero	Hierbas	Zacates	Arbustivas inferiores	Arbustivas superiores	Arborescentes	<b>Total</b>
1 <i>MDM</i>	5	5	4	7	1	<b>22</b>
2 <i>MDM-MDR</i>	6	13	8	13	2	<b>42</b>
3 <i>ZBG</i>	4	10	5	7	2	<b>28</b>

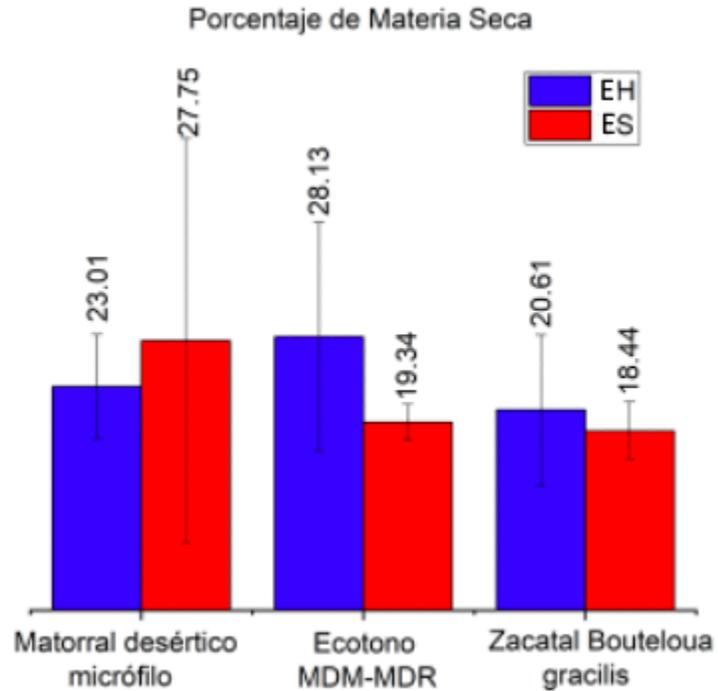
**Cuadro 2.** Plantas forrajeras agrupadas de acuerdo con su valor forrajero por sitio de agostadero.

<i>Valor Forrajero</i>	<i>MDM</i>	<i>MDM-MDR</i>	<i>ZBG</i>
<b><i>Total</i></b>	<b>22</b>	<b>42</b>	<b>28</b>
<i>Deseables</i>	9	17	13
<i>Menos deseables</i>	7	11	8
<i>Indeseables</i>	6	14	7

### **Análisis Bromatológico de las Heces**

#### Materia seca

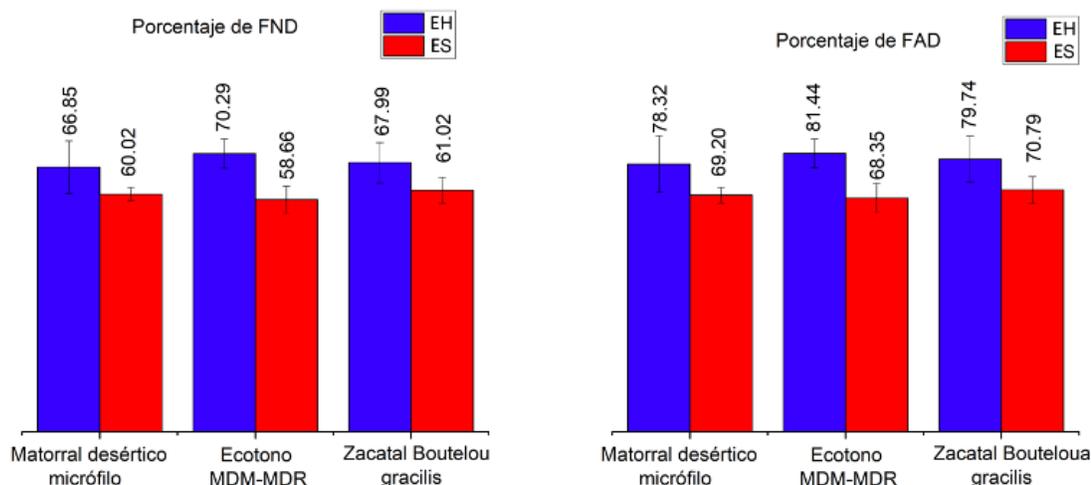
El *MDM-MDR* fue el sitio de agostadero que registró mayor contenido de materia seca durante la época húmeda, mientras que el que alcanzó el menor porcentaje de materia seca en dicha época fue el *ZBG*; por otro lado, durante la época seca del año el sitio que registró mayor contenido de materia seca fue el *MDM* y nuevamente el *ZBG* registró el menor contenido de MS (fig. 16).



**Figura 16.** Porcentajes medios de materia seca contenida en las heces por sitio de agostadero, según época del año.

#### Fibra detergente neutro y fibra detergente ácido

En cuanto al contenido de Fibra Detergente Neutro (FDN) en las heces, sus mayores niveles se registraron en los tres sitios de agostadero durante la época húmeda, lo que resulta hasta cierto punto lógico pues es comprensible que durante la época de crecimiento de los zacates la calidad nutricional en general sea mayor; en contraste, y como respuesta relacionada a la disminución de la calidad nutricional de los forrajes en la época seca del año, fue más baja en los tres sitios de agostadero (figura 17).

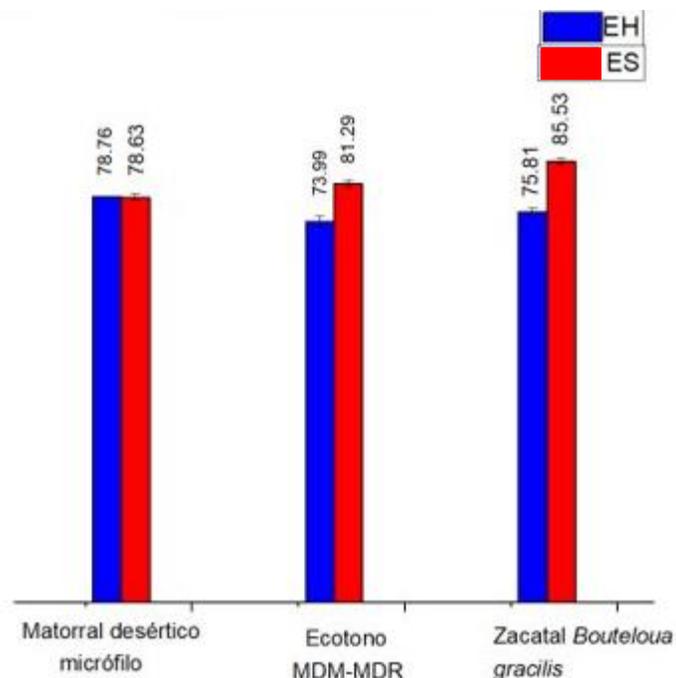


**Figura 17.** Porcentajes medios de Fibra Detergente Neutro y Fibra Detergente Ácido en las heces por sitio de agostadero, según época del año.

Con respecto a los contenidos de FND, en todos los casos éstos fueron mayores a los de FDA, tanto en la época húmeda como en la época seca para los tres sitios de agostadero estudios. El mayor contenido de FDN en la época húmeda en el MDM-MDR fue estadísticamente significativo ( $P < 0.05$ ) con respecto a los otros dos sitios de agostadero, lo que puede estar relacionado con la mayor biodiversidad registrada, además de la presencia de arbustivas y herbáceas de mayor calidad nutricional como *Dalea bicolor*, *Parthenium argentatum*, *Tymophylla pentachaeta* y *Zinnia Acerosa*.

#### Cenizas

De acuerdo a los resultados obtenidos respecto del contenido de cenizas en heces por sitio de agostadero, en la época seca, el sitio 1 correspondiente al MDM fue el que alcanzó el mayor contenido de cenizas con 21.37%; asimismo, en la época húmeda correspondió al MDM-MDR que registró mayor contenido de cenizas respecto a los otros dos sitios de agostadero, con 78.76%.

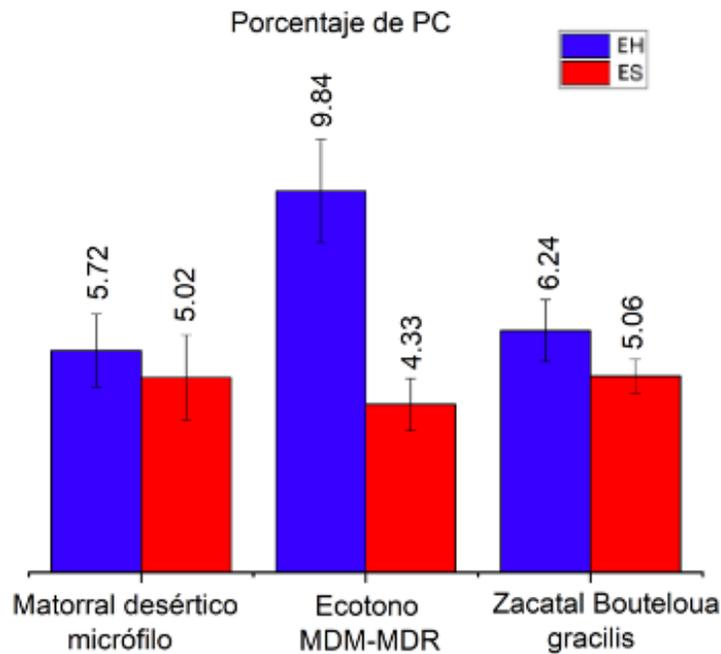


**Figura 18.** Porcentaje de cenizas por sitio de agostadero, según la época del año.

#### Proteína cruda

Con respecto a los resultados obtenidos de los contenidos medios de proteína cruda en las heces, en todos los casos éstos fueron mayores en los tres sitios de agostadero estudiados durante la época húmeda respecto a la época seca. Sin embargo, de entre los tres sitios de agostadero estudiados destaca el contenido medio de PC en el ecotono entre el MDM-MDR que resultó estadísticamente significativo ( $P < 0.05$ ), debido posiblemente también, al mayor número de especies forrajeras deseables presentes y a su calidad nutricional con respecto a las de los otros dos sitios de agostadero. Sin duda podemos establecer que durante la época húmeda se requiere mínima suplementación para alcanzar el 10% del contenido promedio de PC recomendado para mantenimiento (fig. 19); sin embargo, también resalta el hecho que en la época seca registró el menor contenido medio de PC, incluso por debajo de los otros dos sitios de agostadero. Asimismo, con relación a los sitios identificados como MDM y el ZBG, resulta necesario suplementar no únicamente en la época seca, sino también en la húmeda, pues sus contenidos medios de

PC en ambas épocas no sobrepasaron más allá de 6.2% lo que queda muy por debajo de lo requerido para el mantenimiento de los animales.



**Figura 19.** Porcentajes medios de proteína cruda en heces por sitio de agostadero, según época del año.

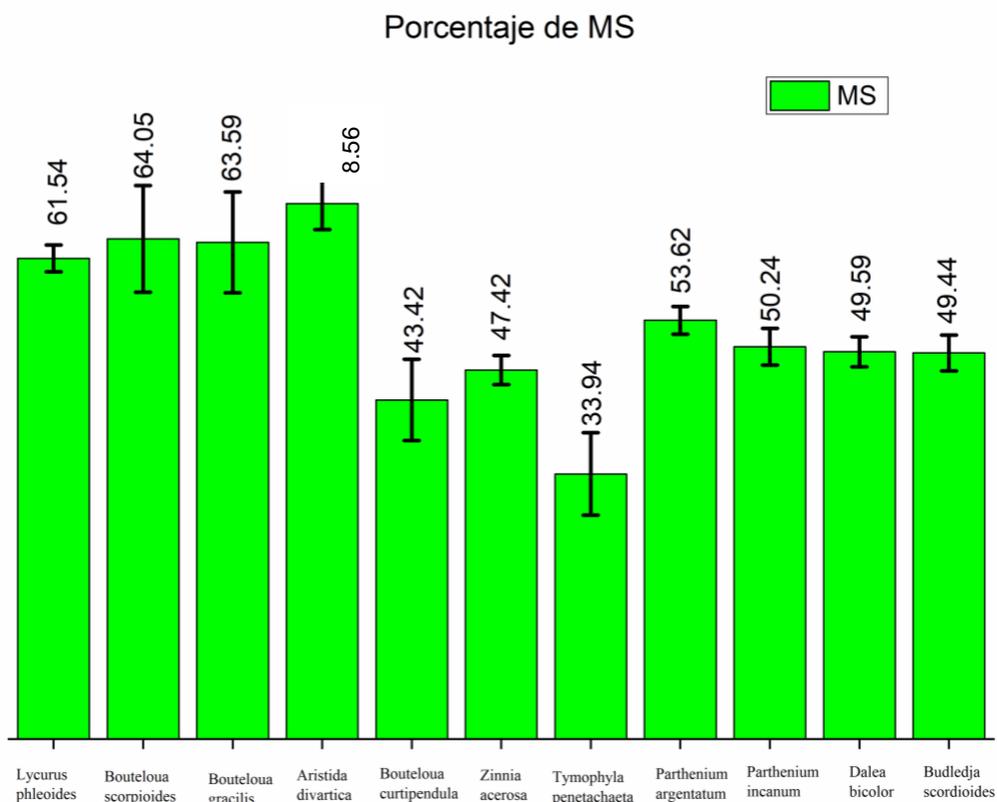
### Evaluación Nutricional de Forrajes Seleccionados

Con el afán de enriquecer la investigación se realizaron los análisis bromatológicos de 11 plantas seleccionadas en total, reconocidas por los productores como especies forrajeras que son consumidas por el ganado, distribuidas entre los distintos estratos de la vegetación.

#### Materia seca

Dentro de los resultados obtenidos con los análisis bromatológicos realizados a las 11 especies identificadas como forrajeras deseables y que fueron recolectadas en el rancho El Palmar, en la figura 20 se presentan sus contenidos medios de materia seca, en los que destaca el zacate *Aristida divaricata* como el que alcanzó el mayor contenido de materia seca con 68.56%, seguido por los zacates *Bouteloua scorpioides*, *B. gracilis* y *Lycurus*

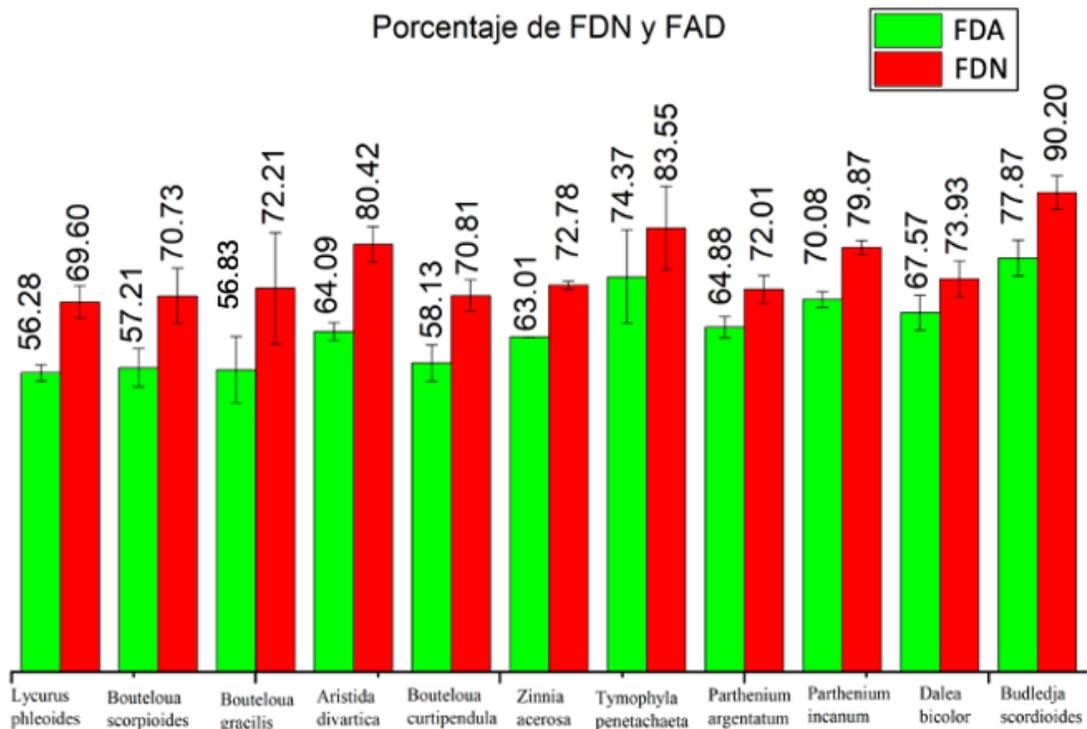
*phleoides*, con valores medios de MS superiores a 61.5 %; por su parte, los forrajes con los valores medios más bajos de MS fueron las herbáceas *Zinnia acerosa* y *Tymophylla pentachaeta*, además del zacate *B. curtipendula* con valores de MS inferiores a 47.4 por ciento.



**Figura 20.** Porcentajes medios de materia seca de las plantas forrajeras evaluadas del rancho El Palmar

#### Fibra detergente neutro y fibra detergente ácido

Como cabría esperarse, los contenidos medios de FDN fueron mayores en todas las plantas forrajeras analizadas, con respecto a los contenidos medios de FDA. Las plantas forrajeras deseables que destacan por el contenido de FDN fueron *Budledja scordioides*, *Tymophylla pentachaeta* y *Aristida divaricata* con contenidos medios superiores a 80.4%; por otro lado, las plantas con menor proporción media de FDN fueron los zacates *Lycurus phleoides*, *B. scorpioides* y *B. curtipendula* con proporciones menores a 70.8 puntos.

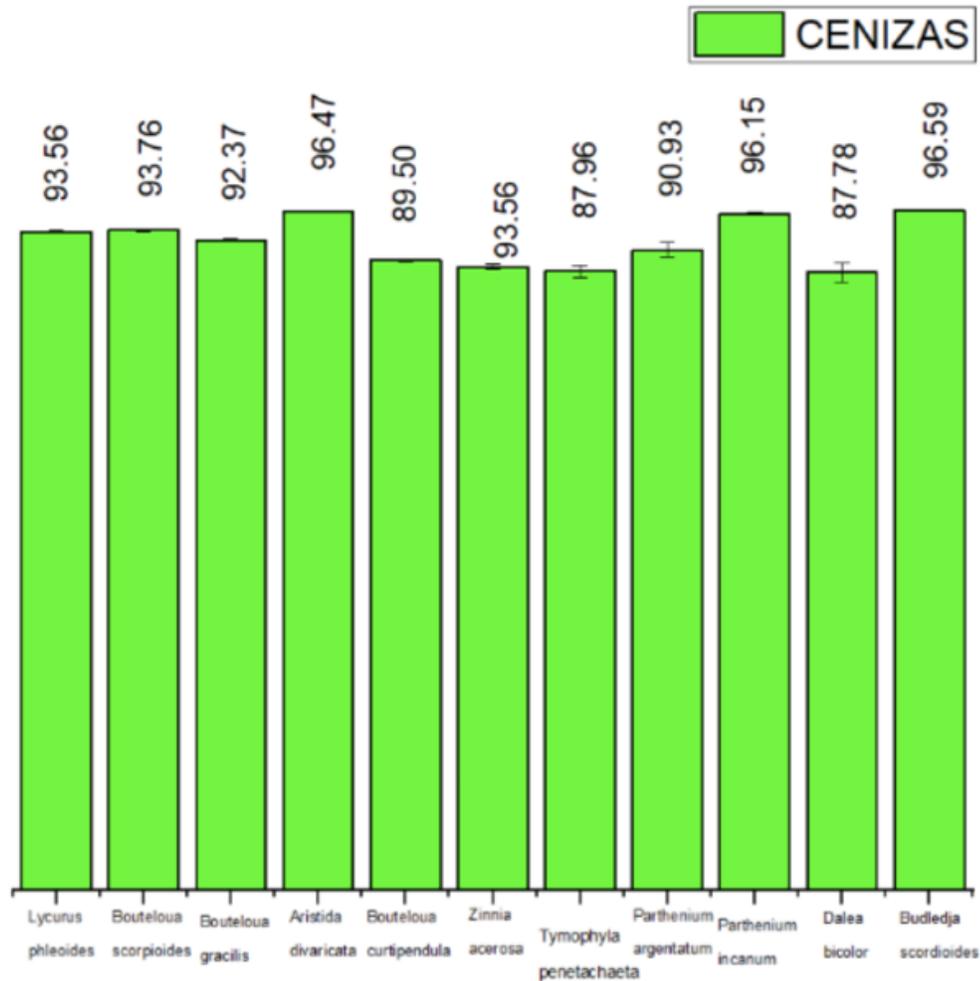


**Figura 21.** Porcentaje de fibra neutro detergente y fibra ácido detergente de las plantas forrajeras evaluadas del rancho El Palmar.

En lo correspondiente a los contenidos medios de FDA, componente de los forrajes con menor digestibilidad que la FDN, sobresalieron *Budledja scordioides*, *Tymophylla pentachaeta* con contenidos medios superiores a 74.3%; en contraste las especies forrajeras con menor contenido fueron *Lycurus phleoides*, *B. scorpioides* y *B. curtipendula* con contenidos medios inferiores a 58.1 por ciento.

#### Materia orgánica

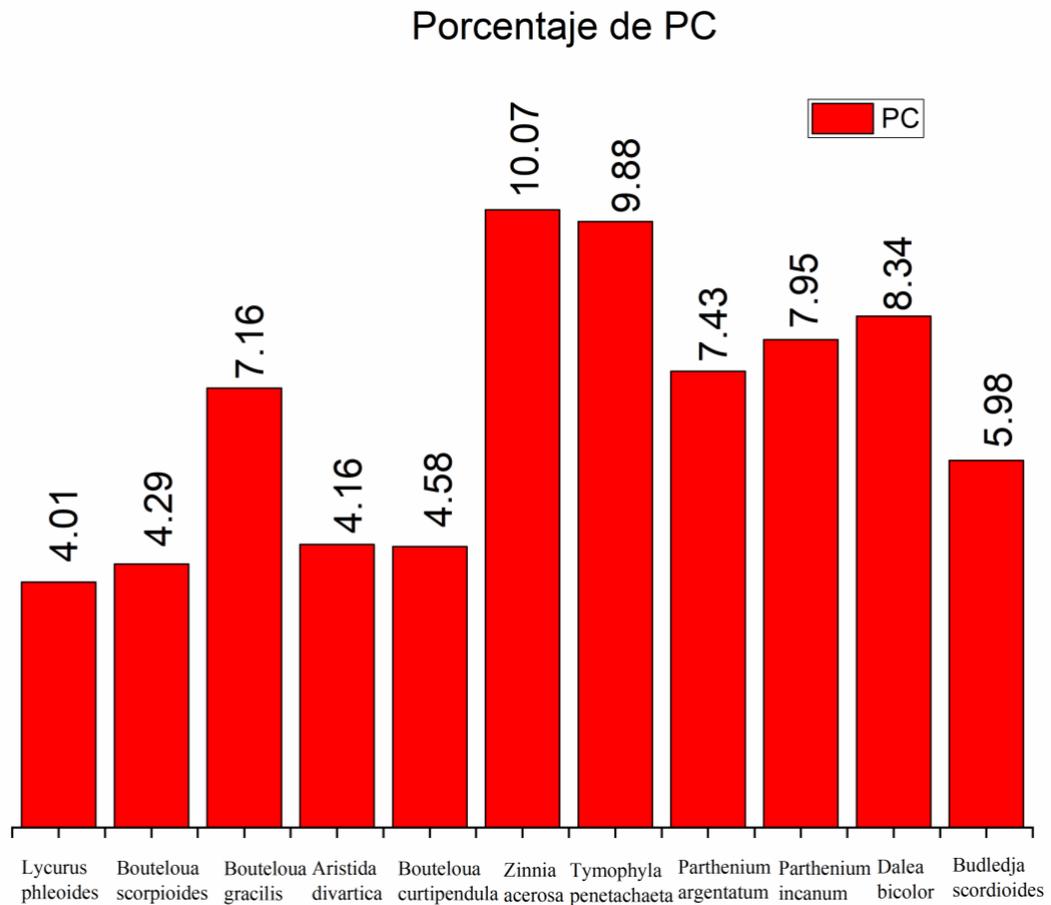
En cuanto al contenido de MO de los forrajes seleccionados para el estudio, destacó *Budledja scordioides* con 96.59%, en contraste el valor registrado más bajo correspondió a *Dalea bicolor* con 87.78%.



**Figura 22.** Porcentaje de cenizas de las plantas forrajeras evaluadas en el Rancho El Palmar.

#### Proteína cruda

Las determinaciones de proteína cruda de las plantas forrajeras seleccionadas del rancho El Palmar registraron resultados muy contrastantes, pues los más altos contenidos de PC correspondieron principalmente a las plantas herbáceas y arbustivas con porcentajes medios de PC superiores a 7.43 puntos. En contraste, de entre los zacates que constituyen la principal fuente de alimento de los bovinos, destacó *B. gracilis* con 7.16 % de PC, mientras el resto no superó los 5.0 puntos porcentuales. Derivado de lo anterior, la herbácea (*Zinnia acerosa*) resultó ser la de mayor contenido de proteína cruda de entre las plantas evaluadas con 10.07 %, seguida de *Tymophylla pentachaeta* con 9.88%, contenido proteico que resulta suficiente para el mantenimiento del ganado.



**Figura 23.** Porcentaje de proteína cruda de las plantas forrajeras evaluadas en el rancho El Palmar.

Las herbáceas *Zinnia acerosa* y *Tymophyla pentachaeta* son abundantes en los tres sitios de agostadero del rancho El Palmar, sin embargo, debido a la preferencia del ganado bovino por los zacates no llegan a ser tan consumidas en la época húmeda del año, no obstante, es en la época seca cuando aportan buena parte de la alimentación de los animales. Por otra parte, la siguiente planta en importancia por su aporte de PC fue el Ramón Forrajero o Engordacabra (*Dalea bicolor*) con 8.34 %, prácticamente suficiente también para el mantenimiento del ganado; en este caso esta especie arbustiva se encuentra disponible para el ganado en el sitio reconocido como MDM, caracterizado por estar en las planicies en las que el ganado puede acceder sin restricciones. Otra

característica del Ramón Forrajero es que pertenece a la familia de las fabáceas y Guayule es su apariencia grisácea, sin embargo, siempre se mantiene verde, incluso en fija nitrógeno atmosférico para las demás especies que conviven a su alrededor, y tiene el plus de ser una planta que atrae una gran cantidad de insectos polinizadores, además, en la época seca y fría del año, constituye buena parte de la dieta del ganado.

Para el análisis de los componentes presentes en las heces, se realizó un ANOVA en un arreglo factorial de 2 épocas x 3 sitios de agostadero. De todos los componentes analizados en las heces durante ambas épocas del año, únicamente los niveles de proteína cruda fueron significativos entre sitios de agostadero ( $P < 0.05$ ), con el sitio 2 MDM-MDR como el que registró los valores más altos.

## DISCUSIÓN

El nitrógeno en las heces se compone de un par de fracciones, primera, la que se asocia al nitrógeno de la dieta que no puede ser absorbido o bien es indigerible por su origen vegetal, y la segunda la referida al nitrógeno de origen metabólico, no proveniente del alimento consumido y que a su vez con origen en otras dos fuentes: la de los microorganismos conjunta a las membranas y componentes celulares no digeridos de las bacterias del rumen, aunada a las bacterias resultado de la fermentación en el colón, y una más endógena, generada por diversas fuentes como células del epitelio, mucus y restos de jugos digestivos y biliares (Portilla et al., 2019). En los años 60's se inició en Australia con la utilización de la técnica para estimar la calidad de la dieta del ganado alimentado en agostaderos a través de determinaciones de nitrógeno, fósforo y calcio contenido en heces (Moir, 1960).

Básicamente se basan en la recolecta de heces directamente del recto, mismo método utilizado en la presente investigación. Las diferencias en la composición de la dieta por sitio de agostadero del presente estudio fueron significativas ( $p < 0.05$ ), siendo la PC mayor en el sitio de agostadero identificado como ecotono entre el matorral desértico micrófilo y el matorral desértico rosetófilo, posiblemente por la biodiversidad registrada, pues en ese sitio se encontraron 42 especies perennes distintas con respecto a 28 del zacatal de *Bouteloua gracilis* y 22 del Matorral desértico micrófilo.

Rosiere *et al.*, (1975) realizaron la evaluación del contenido de proteína cruda en la alimentación de ganado bovino para carne tanto en el invierno como en el verano en matorrales áridos de Nuevo México y sus resultados de 10.8 y 10.1% son superiores a los 4.8 y 9.8% registrados en esta investigación respectivamente, sin embargo, ellos evaluaron la dieta mediante la recolecta directa de la muestra de cuatro novillos Hereford fistulados ruminalmente, a diferencia de la determinación de la proteína en heces del presente estudio. Por otra parte, Portilla Pinzón *et al.*, 2019 sí estimaron la calidad de la dieta en sistemas silvopastoriles en Colombia mediante la cuantificación del nitrógeno fecal, con resultados finales de proteína cruda en vacas que consumieron pasto, de un 10.6% y de 11.1% en promedio para sitios de agostadero con predominio de arbustivas, arbóreas y maderables, que comparados con del 9.8 % de PC de esta investigación en el sitio con

ecotono de MDM-MDR, el más alto de los registrados en los tres sitios y las dos épocas del año del presente estudio, permiten suponer que a medida que el sistema de pastoreo es más diverso, se incrementa su contenido de proteína cruda. Las diferencias registradas entre los resultados obtenidos en comparación a este estudio pueden ser atribuidas a la vegetación tropical utilizada por los colombianos y a la semiárida de nuestro estudio.

Asimismo, Gutiérrez-Gutiérrez *et al.*, (2019), evaluaron la composición botánica y el valor nutricional de la dieta en agostaderos invadidos por zacate Rosado *Melinis repens* (Willd.) Zizka, en Chihuahua, México mediante dos vaquillas fistuladas del esófago, cruce de Hereford x Angus; luego, realizaron la determinación de la composición química durante las diferentes etapas fenológicas del sitio de agostadero: crecimiento, floración, madurez y latencia, y encontraron que el % de PC fue más alto en el crecimiento (13.8), el de Materia Orgánica en la floración (86.0%), el de Fibra Detergente Neutro en la latencia (72.6%) y el de Fibra Detergente Ácido en la madurez (47.7%). Con respecto a los resultados de nuestra investigación, el mayor valor registrado de PC se observó en el *MDM-MDR* con 9.8%, cuatro puntos porcentuales por debajo de lo registrado en la etapa de crecimiento del sitio invadido por *Melinis repens*.

Asimismo, el sitio correspondiente al ecotono del *MDM-MDR* de la presente investigación alcanzó el mayor contenido de FDN en la época húmeda del año con 70.3%, valor que concuerda con los registros de la etapa de crecimiento para las áreas evaluadas invadidas por zacate Rosado, no así para el resto de las etapas fenológicas. Con respecto a la FDA, el valor más alto se registró también en el ecotono *MDM-MDR* y en la misma época húmeda con 81.4%, valor muy superior al 47.7% registrado durante la madurez del sitio invadido por zacate Rosado.

Por otra parte, recientemente se han realizado trabajos de investigación en agostaderos de las zonas áridas de los estados de San Luis Potosí y Zacatecas con la misma metodología aplicada en el presente trabajo para evaluar la composición botánica de los sitios de agostadero en estudio (Lara, *et al.*, 2016, Aguirre *et al.*, 2020; 2023). Resalta el hecho que el inventario florístico evaluado en los tres sitios de agostadero aquí estudiados es discordante respecto a los otros estudios en cuanto a la diversidad de especies perennes registradas en cada uno de ellos. Así, las 42 especies encontradas en el ecotono del *MDM-MDR* del presente estudio son muy superiores a las 22 especies registradas en igual sitio

de agostadero en un trabajo realizado en el ejido El Castañón y Anexos por Aguirre *et al.* (2020), mientras que las 22 especies del MDM del presente estudio son muy similares a las 20 especies registradas en el mismo sitio de agostadero del estudio ya mencionado, aunque cabe mencionar, que las tierras de pastoreo del ejido El Castañón tras la parcelación de sus agostaderos comunales, a pesar del control establecido en los recientes 20 años, tienen un historial previo de sobrepastoreo comunal por más de 50 años, sin restricciones ni de carga animal, ni de las especies animales que las pastoreaban, a diferencia del antecedente histórico de buen manejo en el rancho El Palmar, aunado al descanso impuesto por casi 10 años en sus agostaderos.

## CONCLUSIONES

La calidad de la dieta y los requerimientos de suplemento de bovinos para carne en pastoreo en matorrales semiáridos del altiplano potosino en las épocas húmeda y seca del año pueden determinarse mediante el nitrógeno presente en heces, y con ello brindar orientación a los productores sobre la cantidad y época del año en que debe realizarse para mejorar los indicadores reproductivos y productivos del hato.

Se puede establecer que en los sitios de agostadero de matorrales áridos estudiados, únicamente en el sitio de agostadero MDM-MDR en la época húmeda no es necesario suplementar al ganado, pues el % de PC consumido alcanzó 9.84 puntos, casi el 10% requerido para mantenimiento, mientras que, en la época seca en ese mismo sitio, y en los otros dos sitios para ambas épocas del año se requieren utilizar suplementos para cubrir la demanda necesaria de PC para el ganado bovino en pastoreo, pues ésta osciló entre 4.2 a 6.3 por ciento.

La mayor diversidad de plantas forrajeras existente en el ecotono del MDM-MDR, incluidas algunas correspondientes a herbáceas y arbustivas aportan buenos porcentajes de proteína como son: *Zinnia acerosa* (10.1%), *Tymophylla pentachaeta* (9.9%), *Dalea bicolor* (8.34%), *Parthenium incanum* (7.95%) y *Parthenium argentatum* (7.34%), aunado a que dichas plantas herbáceas y arbustivas constituyen buena parte de la dieta del ganado bovino productor de carne principalmente durante la época seca del año en los agostaderos de zonas áridas y semiáridas, en las que el ramoneo puede llegar a ser hasta de 24 % del total del forraje consumido. De los zacates destacó *Bouteloua gracilis* con casi 8% de PC mientras el resto tuvo contenidos de PC que apenas van de 4.0 a 4.6 por ciento.

## LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. 1975. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 12th Edition. Published by the Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.C.
- Aguirre, J.R., Negrete, L.O. y Castro, R. 2020. Effects of 20 years of parceling on the condition of communal rangeland on a Mexican ejido. *Rev. FCA UNCUYO*. 52 (2): 189-203.
- Bolaños, A., & Aguirre, J. R. (2000). Evaluación preliminar de los agostaderos del occidente del estado de México. *Acta Científica Potosina*, 15(2), 74-97.
- Chalupa, W. y J.D. Ferguson. 1988. Recent concepts in protein use for ruminants examined. *Feedstuffs*, June 13.
- CONAZA. (1994). Plan de acción para combatir la desertificación en México.
- de Alba, J. 1971. Alimentación del ganado en América Latina. 2ª. Ed. La Prensa Médica Mexicana. México. 475 p.
- ESRI. 2008. ArcGIS – A Complete Integrated System.
- FIRA, B. D. M. (1994). Elementos de análisis de las cadenas productivas. *Leche, documento técnico*, 72.
- Gutiérrez Gutiérrez O. G., Morales Nieto C. R., Villalobos González J. C., Ruíz Barrera O, Ortega Gutiérrez J. A., Palacio Núñez J. 2019. Composición botánica y valor nutritivo de la dieta consumida por bovinos en un área invadida por pasto rosado [*Melinis repens* (Willd.) Zizka]. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 10: 212-26.
- Holechek, J. L., Vavra, M., Pieper, R. D. 1982. Botanical composition determination of range herbivore diets: A review. *Journal of Range Management*, 35, 309–315.
- Holechek, J. L., R. D. Pieper, and C. H. Herbel. 2011. Range management, principles and practices. 6th ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. USA. 444 p.
- INEGI, P. W. (2003). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI.
- INEGI, 2007. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI.
- Lara-Juárez, P., Castillo-Lara, P., Tristán-Patiño, F. D. M., Rendón-Huerta, J. A., & Aguirre-Rivera, J. R. (2016). Range site and condition effects on “escamoles” ant (*Liometopum apiculatum* Mayr) nest density. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 22(3), 285-302.

- Laredo, M. (1979). Determinación de fibra por el método ácido-detergente. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/23662> (consulta 10 de mayo de 2023).
- Lyons, T. J. (1992). Lipoprotein glycation and its metabolic consequences. *Diabetes*, 41(Supplement\_2), 67-73.
- Melgarejo, L. G. 1995. Modificación a la técnica fibra detergente neutro de Van Soest (1991), sustituyendo a la Alfa-amilasa A-3306 por la Alfa-amilasa del *Bacillus licheniformis* (Takaterm R) en análisis de alimentos ricos en almidón. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Moir, K. W. (1960). Nutrition of grazing cattle. 1. Estimation of protein in pasture selected by grazing cattle. *Queensland Journal of Agricultural Science*, 17, 361-371.
- Negrete-Sánchez, L. O., Aguirre-Rivera, J. R., Pinos-Rodríguez, J. M., & Reyes-Hernández, H. (2016). Beneficio de la parcelación de los agostaderos comunales del ejido " El Castañón", municipio Catorce, San Luis Potosí: 1993-2013. *Agrociencia*, 50(4), 511-532.
- Owens, F.N. y R. Zinn. 1988. Protein metabolism of ruminant animals. In *The Ruminant Animal. Digestive Physiology and Nutrition*. D.C. Church Ed. New Jersey. Prentice Hall
- Portilla-Pinzón, Danilo; Barragán-Hernández, Wilson; Carvajal-Bazurto, Christian; Cajas-Girón, Yasmin. 2019. Estimación de la calidad de la dieta en sistemas silvopastoriles mediante la cuantificación del nitrógeno fecal. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, vol. 11, núm. 1 Universidad de Sucre, Colombia DOI: <https://doi.org/10.24188/recia.v0.n0.2019.691>.
- Rodas, BD y Sharrow, SH (1990). Efecto del pastoreo de ovejas sobre la cantidad y calidad del forraje disponible para la caza mayor en la Cordillera Costera de Oregón. *Ecología y gestión de pastizales/Revista de archivos de gestión de pastizales* , 43 (3), 235-237.
- Rosiere, R. E., Beck, R. F., & Wallace, J. D. (1975). Cattle diets on semidesert grassland: botanical composition. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 28(2), 89-93.
- Rzedowski, J. (1965). Relaciones geográficas y posibles orígenes de la flora de México. *Botanical Sciences*, (29), 121-177
- Squires, VR y Siebert, BD (1983). Componentes botánicos y químicos de la dieta y cambio de peso vivo en ganado en pastizales semidesérticos en Australia central. *El diario de pastizales* , 5 (1), 28-34.
- Stern, M.D., M.I. Endres y S. Calsamiglia. 1993. Protein concepts in ruminant nutrition. 54th Minnesota Nutrition Conference & National Renderers Technical Symposium. Bloomington, Minnesota

- Van Soest, P.J. 1982. Evolution and role of the ruminant. In *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Ithaca, New York. Cornell University.
- Virtanen, A. I. 1966. Milk production of cows on protein-free feed. *Science* 153: 1603-14.
- Yayota, M., Doi, K., Kawamura, K., & Ogura, S. I. (2017). Monitoring foraging behavior in ruminants in a diverse pasture. *J Integr Field Sci*, 14, 39-47.

## APÉNDICE 1

**Cuadro A 1. Composición florística del Sitio 1. Matorral desértico micrófilo según forma vital de las especies.**

	<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre común</b>
Herbáceas	Fabaceae	<i>Astragalus mollissimus</i> Torr.	Garbancillo
	Solanaceae	<i>Solanum</i> <i>elaegnifolium</i> Cav.	Trompillo
	Asteraceae	<i>Thymophylla</i> <i>pentachaeta</i> (DC.) Robinson	Parraleña
	Asteraceae	<i>Zinnia acerosa</i> (DC.) A.Gray	Hierba del burro
	Amaryllidaceae	<i>Zephyranthes</i> <i>fosteri</i> Traub	Mayito
	Poaceae	<i>Bouteloua gracilis</i> (Kunth) Lag. ex Steud.	Navajita azul
Zacates	Poaceae	<i>Lycurus phleoides</i> Kunth	Zacate lobero
	Poaceae	<i>Muhlenbergia villiflora</i> Hitc.	Zacate pelillo
	Poaceae	<i>Erioneuron avenaceum</i> (Kunth) Tateoka	Falso tridente avenáceo
	Poaceae	<i>Elymus elimoides</i>	Zacate trigo
	Rubiaceae	<i>Bouvardia terniflora</i>	Trompetilla
Arbustivo inferior	Cactaceae	<i>Opuntia rastrera</i> F.A.C. Weber	Nopal rastrero
	Asteraceae	<i>Parthenium incanum</i> Kunth	Mariola
	Cactaceae	<i>Echinocactus</i> <i>horizonthalonius</i> Lem.	Biznaga mancadora
Arbustivo superior	Scrophulariaceae	<i>Buddleja</i> <i>scordioides</i> Kunth	Escobilla
	Asteraceae	<i>Flourensia cernua</i> DC.	Hojasén
	Rhamnaceae	<i>Condalia mexicana</i> Schltdl.	Pata de gallo

	Fabaceae	<i>Dalea bicolor</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Engordacabra
	Zygophyllaceae	<i>Larrea tridentata</i> (DC.) Coville	Gobernadora
	Cactaceae	<i>Opuntia cantabrigiensis</i> Lynch	Nopal cuijo
	Cactaceae	<i>Cylindropuntia imbricata</i> (Haw.) F.M. Knuth	Cardenche
Arboresencias	Agavaceae	<i>Yucca filifera</i> Chabaud	Izote

**Cuadro A 2. Composición florística del Sitio 2. Ecotono matorral desértico micrófilo y matorral desértico rosetófilo según forma vital de las especies.**

	Familia	Nombre científico	Nombre común
	Fabaceae	<i>Astragalus mollissimus</i> Torr.	Garbancillo
	Scrophulariaceae	<i>Castilleja tenuiflora</i> Benth.	Cola de borrego
Herbáceas	Malvaceae	<i>Sphaeralcea angustifolia</i> (Cav.) G. Don	Hierba del negro
	Convolvulaceae	<i>Dichondra argentea</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Oreja de ratón
	Asteraceae	<i>Thymophylla pentachaeta</i> (DC.) Robinson	Parraleña
	Asteraceae	<i>Zinnia acerosa</i> (DC.) A.Gray	Hierba del burro
	Poaceae	<i>Aristida adscensionis</i> L.	Tres barbas
	Poaceae	<i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.	Banderita
	Poaceae	<i>Bouteloua gracilis</i> Kunth Lag. ex Steud.	Navajita azul
Zacates	Poaceae	<i>Bouteloua scorpioides</i> Lag.	Navajita
	Poaceae	<i>Bouteloua hirsuta</i> Lag.	Navajita velluda
	Poaceae	<i>Dasyochloa pulchella</i> (Kunth) Willd. ex Rydb.	Borreguero
	Poaceae	<i>Erioneuron avenaceum</i> (Kunth) Tateoka	Falso tridente
	Poaceae	<i>Lycurus phleoides</i> Kunth	Lobero

	Poaceae	<i>Muhlenbergia villiflora</i> Hitchc.	Pelillo
	Poaceae	<i>Leptochloa dubia</i> (Kunth) Nees	Gigante
	Poaceae	<i>Elymus elimoides</i>	Trigo
	Poaceae	<i>Bouteloua dactyloides</i> (Nutt.) Columbus	Búfalo
	Poaceae	<i>Hilaria belangeri</i> (Steud.) Nash	Mezquite
	Rubiaceae	<i>Bouvardia terniflora</i>	Trompetilla
	Cactaceae	<i>Cylindropuntia tunicata</i> (Lehm.) F.M. Knuth	Clavellina
Arbustivo Inferior	Euphorbiaceae	<i>Jatropha dioica</i> Sessé ex Cerv.	Sangre de grado
	Cactaceae	<i>Opuntia rastrera</i> F.A.C. Weber	Nopal rastrero
	Asteraceae	<i>Parthenium incanum</i> Kunth	Mariola
	Cactaceae	<i>Mamillaria spp.</i>	Biznaga
	Ephedraceae	<i>Ephedra compacta</i> Rose	
	Cactaceae	<i>Opuntia</i> <i>pubescens</i> H.L.Wendl. ex Pfeiff.	Perrito
	Rhamnaceae	<i>Condalia mexicana</i> Schltld.	Pata de gallo
	Asteraceae	<i>Flourensia cernua</i> DC.	Hojasén
	Fabaceae	<i>Dalea bicolor</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Engordacabra
	Cactaceae	<i>Ferocactus pilosus</i> (Galeotti) Werderm.	Biznaga roja
Arbustivo superior	Scrophulariaceae	<i>Buddleja scordioides</i> Kunth	Escobilla
	Zygophyllaceae	<i>Larrea tridentata</i> (DC.) Coville	Gobernadora
	Fabaceae	<i>Mimosa biuncifera</i> Benth	Gatuño
	Cactaceae	<i>Opuntia cantabrigiensis</i> (DC.) Coville	Nopal cuijo
	Cactaceae	<i>Opuntia robusta</i> H.L. Wendl. ex Pfeiff.	Nopal tapón
	Lamiaceae	<i>Salvia ballotaeflora</i> Benth.	Hierba blanca

	Cactaceae	<i>Cylindropuntia imbricata</i> (Haw.) F.M. Knuth	Cardenche
	Cactaceae	<i>Ferocactus latispinus</i> (Haw.) Britton & Rose	Lengua de demonio
	Cactaceae	<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck	Maguey
Arboresencias	Agavaceae	<i>Yucca carnerosana</i> (Trel.) McKelvey.	Palma samandoca
	Agavaceae	<i>Yucca filifera</i> Chabaud	Izote

**Cuadro A 3. Composición florística del Sitio 3. Zacatal de *Bouteloua gracilis* según forma vital de las especies.**

	Familia	Nombre científico	Nombre común
	Convolvulaceae	<i>Dichondra argentea</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Oreja de ratón
Herbáceas	Asteraceae	<i>Thymophylla</i> <i>pentachaeta</i> (DC.) Robinson	Parraleña
	Asteraceae	<i>Zinnia acerosa</i> (DC.) A.Gray	Hierba del burro
	Fabaceae	<i>Astragalus</i> <i>mollissimus</i> Torr.	Garbancillo
	Poaceae	<i>Aristida adscensionis</i> L.	Tres barbas
	Poaceae	<i>Aristida divaricate</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Tres barbas abierto
Zacates	Poaceae	<i>Bouteloua gracilis</i> (Kunth) Lag. ex Steud.	Navajita azul
	Poaceae	<i>Bouteloua hirsuta</i> Lag.	Navajita velluda
	Poaceae	<i>Bouteloua scorpioides</i> Lag.	Navajita
	Poaceae	<i>Elymus elimoides</i>	Zacate trigo

	Poaceae	<i>Erioneuron avenaceum (Kunth) Tateoka</i>	Falso tridente
	Poaceae	<i>Leptochloa dubia (Kunth) Nees</i>	Gigante
	Poaceae	<i>Lycurus phleoides Kunth</i>	lobero
	Poaceae	<i>Muhlenbergia villiflora Hitchc.</i>	pelillo
	Asteraceae	<i>Parthenium incanum Kunth</i>	Mariola
	Ephedraceae	<i>Ephedra compacta Rose</i>	Pitorreal
Arbustivo inferior	Euphorbiaceae	<i>Jatropha dioica Sessé ex Cerv.</i>	Sangre de grado
	Fabaceae	<i>Mimosa biuncifera Benth</i>	Gatuño
	Cactaceae	<i>Opuntia rastrera F.A.C. Weber</i>	Nopal rastrero
	Rubiaceae	<i>Buddleja scordioides Kunth</i>	Escobilla
	Asteraceae	<i>Flourensia cernua DC.</i>	Hojasén
	Cactaceae	<i>Ferocactus pilosus (Galeotti) Werderm.</i>	Biznaga roja
Arbustivo superior	Zygophyllaceae	<i>Larrea tridentata (DC.) Coville</i>	Gobernadora
	Cactaceae	<i>Opuntia cantabrigiensis Lynch</i>	Nopal cuijo
	Cactaceae	<i>Cylindropuntia imbricata (Haw.) F.M. Knuth</i>	Cardenche
	Cactaceae	<i>Agave salmiana Otto ex Salm-Dyck</i>	Maguey
Arboresencias	Agavaceae	<i>Yucca carnerosana (Trel.) McKelvey.</i>	Palma samandoca
	Agavaceae	<i>Yucca filifera Chabaud</i>	Izote

## APÉNDICE 2

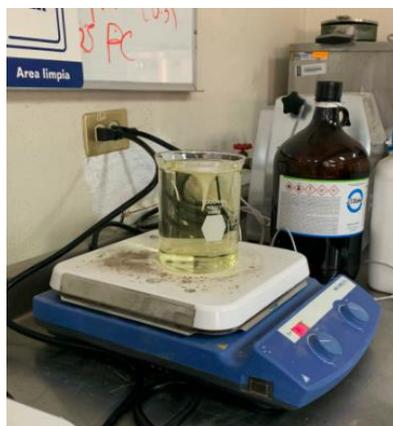
### **1.-Descripción de la Determinación de la Fibra Detergente Neutro y Fibra Detergente Ácido.**

Para obtener la solución detergente neutro para la determinación de dicha fracción de la fibra se requieren los siguientes reactivos:

- a) 1 L Agua destilada
- b) 30 g Lauril sulfato de sodio, U.S.P.
- c) 18.61 g EDTA, G.R.
- d) 4.56 g Fosfato ácido disódico, anhidro, G.R.
- e) 6.81 g Tetraborato de sodio dehidratado, G.R.
- f) 10 ml Etilen glicol monoetil éter purificado.

El procedimiento para obtenerla es como sigue: se añaden EDTA y el  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (Tetraborato) juntos en un vaso de precipitado grande, luego el agua destilada y se calienta hasta que se disuelva, se centrifuga un poco para que la solución inicie a disolverse. Posteriormente se agrega a esta solución el lauril sulfato de sodio y el etilen glicol monoetil éter, por último, se añade el fosfato ácido disódico y, se espera a que la solución se torne a un tono amarillento y transparente (fig. 1). Ya con la solución lista se comprueba que el pH esté entre 6.9 y 7.1, mediante una prueba de titulación (fig. 2).

Ya con la solución preparada y lista para ser utilizada, se pesan en báscula analítica Explorer de la marca OHAUS CORPORATION Made in USA, entre 0.35 a 1.0 g de muestras de heces y forrajes ya secas (fig. 3), y se colocan en bolsas de papel filtro F57 de la marca ANKOM TECHNOLOGY, las cuales se pesan individualmente (fig. 4).

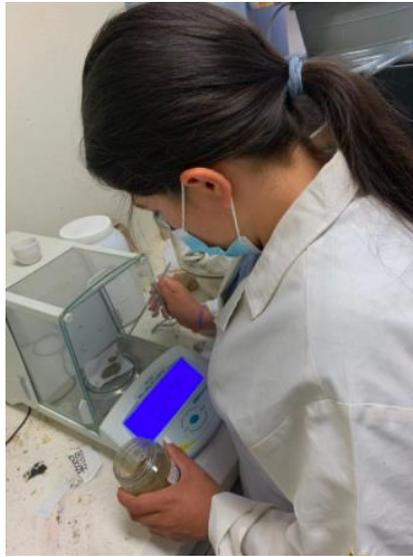


**Figura 1.** Solución detergente neutra lista para utilizarse.



**Figura 2.** Titulación de solución detergente neutra.

enseguida se identifican con lápiz, para luego colocar dentro de la bolsa la muestra de heces o forrajes según sea el caso y, finalmente sellarlas herméticamente para evitar que la muestra escape de la bolsa y los resultados no sean los deseados (fig. 5). Las bolsas para digestión se secan 24 h antes en horno de aire forzado a 55° C para eliminar algún tipo de grasa adherida o contaminantes que puedan interferir en nuestros resultados.



**Figura 3.** Toma del peso de la muestra en báscula analítica.



**Figura 4.** Toma del peso de las bolsas para digestión previamente secas.

Las bolsas para digestión con el contenido de las muestras se colocan en vasos precipitados y se añaden de 35 a 100 ml de solución detergente neutra hasta cubrir las muestras; para evitar que las muestras floten se colocan unas tiras de plástico o coladores

pequeños de cocina, de tal forma que todo el tiempo las muestras estén sumergidas en la solución.



**Figura 5.** Bolsa para digestión con el contenido de la muestra, sellada herméticamente por medio de calor.

Posteriormente, se calienta la solución más la muestra en el aparato de digestión de la marca LABCONCO a 90 °C, y cuando comienza a hervir se dejan pasar 60 minutos, para su extracción (fig. 6). Una vez que las muestras están listas (60 min después), se extraen con mucho cuidado y se enjuagan, por hasta 15 minutos para un enjuague correcto, repetimos este paso tres veces para que las muestras queden completamente limpias. Luego, las muestras se colocan en la estufa de aire forzado durante 24 horas a 60°C hasta que queden completamente secas, para esto, se colocan con pinzas en un desecador y posteriormente se pesan para poder obtener los rendimientos de la FND recuperada, la cual se expresa como porcentaje de constituyentes de la pared celular (CPC), mediante la siguiente fórmula:

$$CPC = \frac{(papel + muestra) - (papel)}{Peso\ de\ la\ muestra} \times 100$$

### **Determinación de Fibra Detergente Ácido**

El valor de la FDA hace referencia a las porciones de pared celular del forraje que están compuestas de celulosa y lignina. Estos valores son importantes porque tienen que ver con



**Figura 6.** Digestor de la marca LABCONCO con los recipientes y muestras en calentamiento.

la capacidad de un animal para digerir el forraje. A medida que la FDA aumenta, disminuye la digestibilidad del forraje (Owens y Zinn, 1988).

#### Reactivos utilizados

- a) 20 g Bromuro de cetiltrimetil amonio (CTAB) grado técnico
- b) 972.9 ml Agua destilada
- c) 27.1 ml Ácido Sulfúrico 1N ( $H_2SO_4$ )

#### Procedimiento

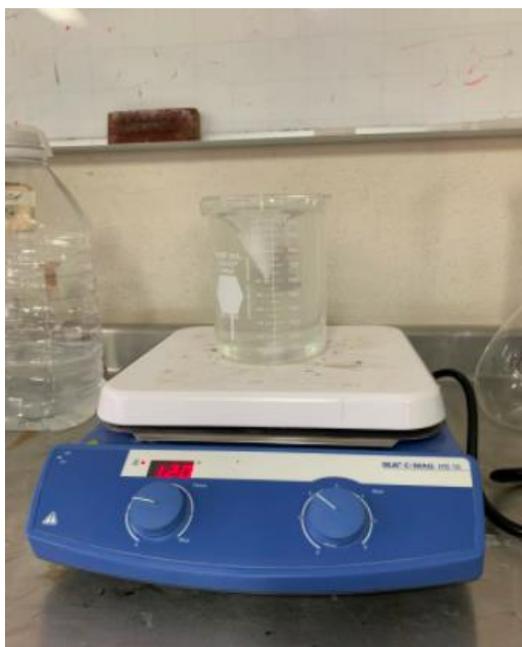
Primero se disuelven en 972.9 ml de agua destilada los 27.1 ml de ácido sulfúrico para completar 1 L de solución de ácido sulfúrico al 1 N (fig. 7). Una vez obtenida se disuelven 20g de CTAB hasta obtener un color blanco transparente (fig. 8).

Previo a sacar las muestras de la solución detergente neutra, para ser secadas por 24 horas en la estufa de aire forzado y ser pesadas, se vuelven a introducir en los recipientes de vidrio, éstos contienen ahora la solución detergente ácida ya preparada; las muestras de

heces y forrajes se mantienen en esta forma durante 60 minutos a partir del momento que empiece a hervir, con un ajuste de la ebullición a un nivel bajo.



**Figura 7.** Preparación de la solución de ácido sulfúrico al 1N con agua destilada, en una campana de extracción.



**Figura 8.** Solución detergente ácida lista para ser utilizada.

Una vez transcurridos los 60 minutos se sacan y enjuagan varias veces, luego se hierven nuevamente en agua tres veces para que la solución ácido detergente se elimine, estas muestras se colocan en la estufa de aire forzado nuevamente durante toda la noche para ser pesadas al siguiente día y obtener así los resultados, mediante la siguiente fórmula:

$$FDA = \frac{(\text{peso del papel} + \text{muestra}) - (\text{peso del papel})}{PS} \times 100$$

En donde:

PS = Peso de la muestra secada en la estufa.

## **2.- Determinación de Nitrógeno y Proteína**

Reactivos utilizados

- a) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- b) Solución de ácido bórico al 4%.
- c) Solución indicadora de rojo de metilo y verde de bromocresol (mezclar una parte de solución etanólica de rojo de metilo al 0.2% con 5 partes de solución etanólica de verde de bromocresol al 0.2%).
- d) Mezcla catalizadora. Mezclar 96 g de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 3.5 g de CuSO<sub>4</sub> y 0.5 g de selenio y moler finamente en un mortero.
- e) Solución de NaOH al 40% (en peso), 400 g de NaOH y un litro de H<sub>2</sub>O destilada.
- f) Solución valorada de HCL o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> cercana al 0.1 N.

Procedimiento

Para la determinación de nitrógeno y proteína de las muestras de heces y forrajes, se pesan exactamente 0.3 g de la muestra y se depositan en tubos de vidrio, previamente se agregan 3.0 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico) concentrado en cada tubo (fig. 9), posteriormente se añade ¼ de pastilla catalizadora (fig. 10), después estos tubos se digestan a temperaturas



**Figura 9.** Tubos con 0.3 g de muestra de heces o forraje y 3.0 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado.

elevadas (entre 600 a 650 °C), en un digestor de la marca LABCONCO, hasta que toda la materia orgánica se disuelva (fig. 11 y 12); esto se percibe cuando las muestras presentan un color ámbar (fig. 13), después se retiran del digestor y se enfrían un poco para poderlas transferir al destilador, el cual se lava con agua destilada, para que quede dentro la muestra completa y no quedaran residuos. Asimismo, en el extremo del condensador, colocamos un matraz Erlen Mayer de 50 ml con 6.0 ml de solución de ácido bórico al 4% (fig. 14) con la precaución que el extremo del condensador quede sumergido dentro de la solución, todo esto se realiza en cuanto el destilador esté completamente caliente, de preferencia hasta que hierve. Una vez que el matraz está listo y sumergido, y con la muestra ya incorporada, se adicionan 12 ml de NaOH (hidroxido de sodio) y se destila hasta obtener 25 ml del destilador, en cuanto se obtenían los ml requeridos, se enjuaga el extremo del condensador con agua destilada y se retira el matraz para proseguir con la titulación (fig. 15). El matraz se coloca debajo de la pipeta con los ml requeridos de solución valorada de ácido al 0.1 N, todo de manera lenta, o incluso por goteo, y se mezcla el líquido de preferencia, hasta que pase de color azul a rosa claro, en ese momento, se cierra la pipeta y se contabilizan los ml que se



**Figura 10.** Pastillas catalizadoras divididas en cuatro, para agregar luego a 3.0 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado en cada tubo con 0.3 g de muestra de heces o forraje.

utilizaron de dicha solución, para así poder realizar el cálculo y obtener los resultados de nitrógeno y proteína de cada muestra, con el uso de la siguiente fórmula.

$$\% N = \frac{(ml)(normalidad\ del\ ácido)(1.4)}{Peso\ de\ la\ muestra\ en\ gramos}$$

La proteína calculada sería = % N x 6.25

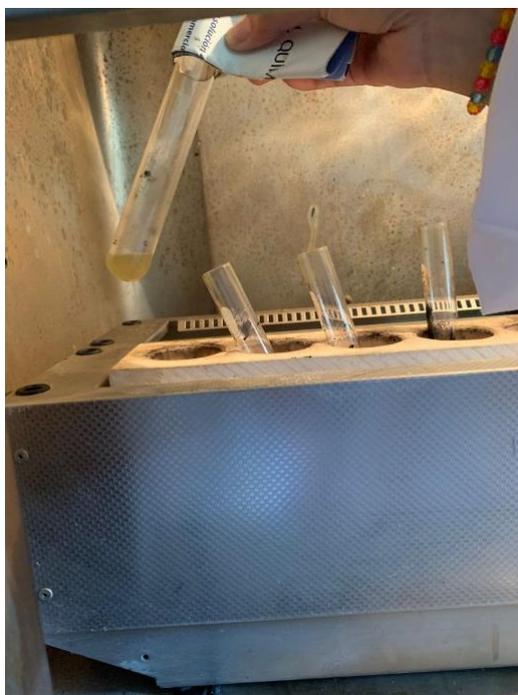
Normalidad del ácido = 0.1



**Figura 11.** Preparación y cuidado de las muestras en el digestor.



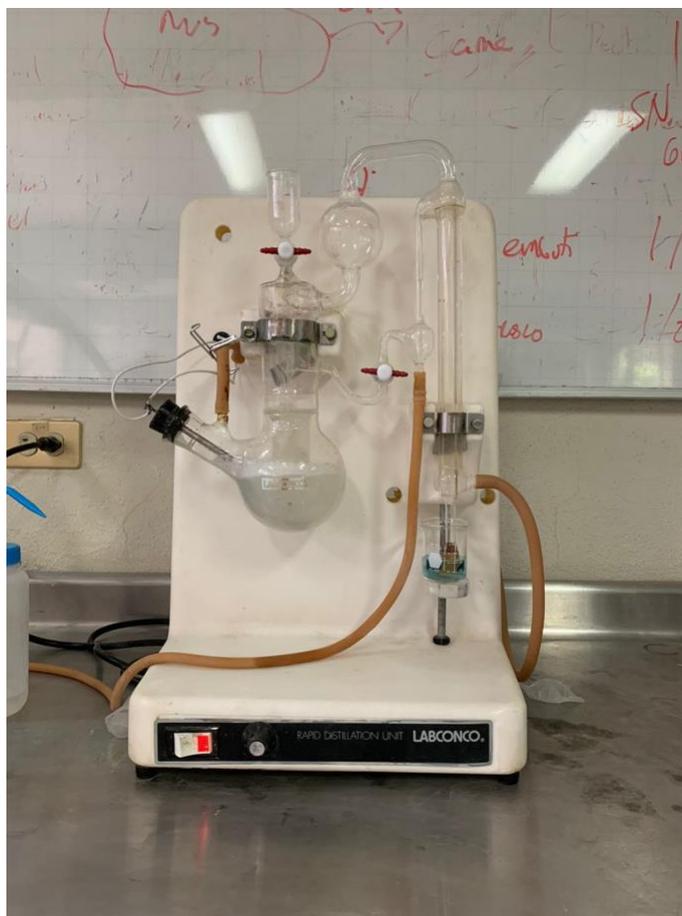
**Figura 12.** Digestor con los tubos con muestras ya preparadas.



**Figura 13.** Color ámbar de la muestra, tras dos horas en el digestor.



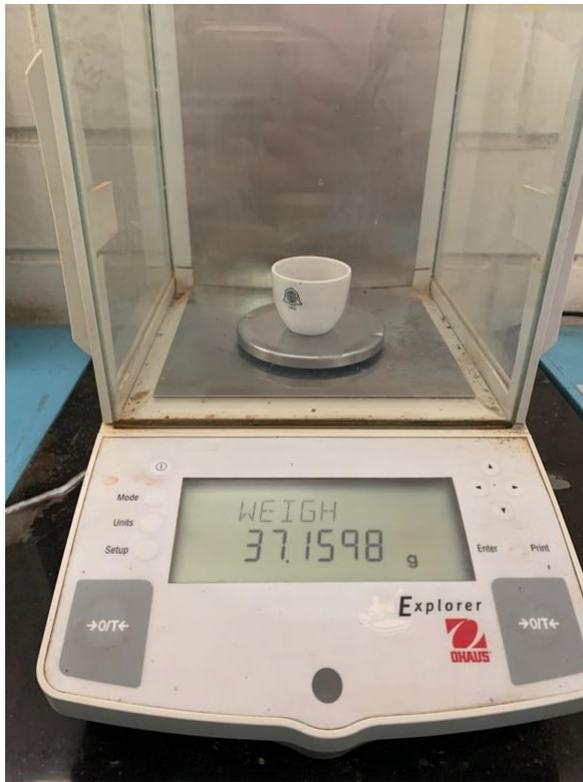
**Figura 14.** Obtención de 6 ml de solución de ácido bórico al 4%.



**Figura 15.** Aparato de destilación, con su matraz sumergido en el extremo del condensador.

### **Determinación de Cenizas**

Para estos análisis no se utilizó ningún reactivo, sólo se requiere de una mufla y crisoles de porcelana (fig. 16). Primero se colocan los crisoles de porcelana en una estufa de aire forzado durante una hora a 100 °C, posteriormente se pasan a un desecador con el uso de pinzas para evitar tener contacto directo con ellos y que no absorban humedad. Posteriormente se pesan 2.0 g de muestra en un papel y se colocan en cada uno de los crisoles previamente identificados perfectamente, luego se colocan en la mufla (fig. 17) y se eleva la temperatura hasta alcanzar 600 °C, se dejan durante tres horas, para posteriormente bajar la temperatura por debajo de 100 °C y pasar los crisoles nuevamente al desecador, una vez que se hayan enfriado un poco (fig.18). Ya fríos se pesaron para evitar la absorción de humedad.



**Figura 16.** Pesaje de crisoles en báscula analítica.



**Figura 17.** Muestras de heces en crisoles colocados en la mufla para obtener el contenido de cenizas.

Para determinar las cenizas se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(\text{peso crisol} + \text{muestra}) - (\text{peso crisol} + \text{cenizas})}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$



**Figura 18.** Contenido de cenizas de las muestras de heces.