



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

**COMPOSICIÓN QUÍMICO-MINERAL DE
LEGUMINOSAS DEL MATORRAL SARCOCAULE:
INTERACCIÓN CLIMA-SUELO-PLANTA**

TESIS

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Agricultura Sustentable)

P r e s e n t a

Aly Zepeda León

La Paz, Baja California Sur, marzo de 2016

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 10:00 horas del día 15 del mes de enero de 2016, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

“COMPOSICIÓN QUÍMICO-MINERAL DE LEGUMINOSAS DEL MATORRAL SARCOCAULE: INTERACCIÓN CLIMA-SUELO-PLANTA”

Presentada por el alumno:

Aly Zepeda León

Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **Agricultura Sustentable**

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

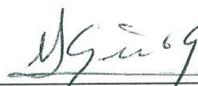
LA COMISIÓN REVISORA



DR. BERNARDO MURILLO AMADOR
DIRECTOR DE TESIS



DR. ARIEL GUILLEN TRUJILLO
CO-TUTOR



DRA. ALEJANDRA NIETO GARIBAY
CO-TUTOR



DRA. NORMA YOLANDA HERNÁNDEZ SAAVEDRA
DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO Y FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

COMITÉ TUTORIAL

Dr. Bernardo Murillo Amador (Director de Tesis).

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, B.C.S.

Dr. Ariel Guillén Trujillo (Co-Tutor).

Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S.

Dra. Alejandra Nieto Garibay (Co-Tutor).

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, B.C.S.

COMITÉ REVISOR DE TESIS

Dr. Bernardo Murillo Amador

Dra. Alejandra Nieto Garibay

Dr. Ariel Guillén Trujillo

JURADO DE EXAMEN DE GRADO

Dr. Bernardo Murillo Amador

Dra. Alejandra Nieto Garibay

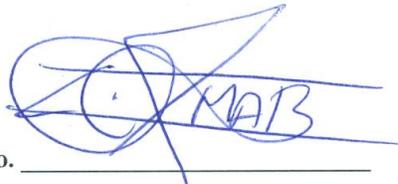
Dr. Ariel Guillén Trujillo

Suplente: Dr. Enrique Troyo Diéguez

RESUMEN

El estudio de las interacciones entre clima-suelo-planta en las zonas áridas son de suma importancia, ya que éstos pueden limitar a las especies de flora y fauna que lo habitan. Sin embargo, existe una relación importante entre estos tres factores que mantienen un equilibrio entre sí, ya que cuando hay una limitante entre ellos, se imponen severas restricciones nutricionales en el suelo y determinan la composición químico-mineral de las especies nativas asociadas al agostadero de las zonas áridas y semiáridas. El impacto de las especies de leguminosas nativas del agostadero como fuente de alimento en la nutrición del ganado es importante, ya que conforman un alto porcentaje en la dieta de los animales en zonas áridas. El objetivo del estudio fue determinar la variación estacional climática, edáfica y sus efectos en la composición químico-mineral de leguminosas asociadas al matorral sarcocaulé en dos sitios del municipio de La Paz, Baja California Sur. Durante 12 meses, se realizaron tres muestreos por cada estación; se realizó el registro de variables climáticas de ambas áreas, un análisis de las propiedades químicas del suelo, así como el análisis químico y mineral de cinco especies de leguminosas: *Prosopis articulata* (Mezquite), *Parkinsonia floridum* (Palo verde), *Parkinsonia praecox* (Palo brea), *Lysiloma candida* (Palo blanco) y *Olneya tesota* (Uña de gato). Los resultados mostraron correlaciones significativas entre algunas variables climatológicas con las variables físico-químicas del suelo y químico-minerales de especies leguminosas. También se presentaron correlaciones entre las variables físico-químicas del suelo con la composición químico-mineral de las especies leguminosas en los sitios de estudio. Asimismo, algunas variables químico-minerales de las especies leguminosas y físico-químicas del suelo en los sitios de estudio mostraron variabilidad entre estación, especies y entre la interacción estación×especie. Se concluye que la variación del clima y del suelo mostró una interrelación entre algunas variables climatológicas, físico-químicas del suelo y químico-mineral de las plantas, contribuyendo en la respuesta y diferenciación en la composición químico-mineral de las especies leguminosas en los sitios y entre las estaciones del año.

PALABRAS CLAVE: *Prosopis articulata*, *Parkinsonia floridum*, *Parkinsonia praecox*, *Lysiloma candida*, *Olneya tesota*.



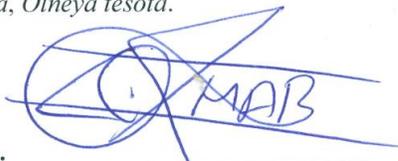
Vo. Bo. _____

Dr. Bernardo Murillo Amador
Director de Tesis

ABSTRACT

The study of the interactions between climate-soil-plant in arid areas is very important since their relationship may limit the flora and fauna that inhabit these areas. If there is a limiting factor in the relationship of these three factors to maintain an equilibrium among themselves, severe nutritional restrictions prevail in the soil and determine the chemical and mineral composition of native species associated to summer pasture in arid and semi-arid areas. The impact on these vegetation species as food source in livestock nutrition is important, as they make up a high percentage in the diet of animals in arid areas. The objective of the study was to determine the seasonal climate and soil variation and effects on the chemical-mineral composition of the leguminosae associated to sarcocaul scrub at two sites in the municipality of La Paz, Baja California Sur. During 12 months, three samplings were performed in each season. Chemical-physical and chemical-mineral analyses were performed on climate variables and recorded from both soil and five leguminosae species *Prosopis articulata* (Mezquite), *Parkinsonia floridum* (Palo verde), *Parkinsonia praecox* (Palo brea), *Lysiloma candida* (Palo blanco) and *Olneya tesota* (Uña de gato), respectively. The results showed significant correlations between some climate variables with soil physical-chemical and leguminosae mineral-chemical variables. Correlations were also observed between soil physical-chemical variables with the chemical-mineral composition of legume species in the study sites. Moreover, some leguminosae and soil variables were observed in the study sites between season, species, and between species \times season interaction. It concludes that climate and soil variations showed an interrelationship between some climate, soil physical-chemical, and plant mineral chemical variables, contributing to the response and differentiation in the chemical and mineral composition of the leguminosae species in the study sites and among seasons of the year.

KEY WORDS: *Prosopis articulata*, *Parkinsonia floridum*, *Parkinsonia praecox*, *Lysiloma candida*, *Olneya tesota*.



Vo. Bo. _____

Dr. Bernardo Murillo Amador
Director de Tesis

DEDICATORIA

A mi Mamá por ser quien me diera vida y por su apoyo en todo momento, Cecilia León Ojeda.

A mi hermano el más pequeño de los tres, Abraham León Ojeda.

A mi compadre y hermano Alan León Ojeda.

A mi sobrina ahijada, Valeria Guadalupe León González.

A mi Abuelita, por criarme, Enriqueta Ojeda López.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada No. 565533/301941.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., por la oportunidad de estudiar un posgrado de calidad.

Al Dr. Bernardo Murillo Amador, por guiarme con paciencia en el quehacer de la investigación y por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo de investigación el cual fue financiado por el proyecto AGROT1 de la línea estratégica de Agrotecnología y Recursos Energéticos.

A la Dra. Alejandra Nieto Garibay, por ser parte del trabajo de tesis.

Al Dr. Ariel Guillén Trujillo, por ser parte del trabajo de tesis.

Al personal de la Dirección de Posgrado del CIBNOR, por su amabilidad y todas las facilidades brindadas durante mis estudios de posgrado: Dra. Elisa Serviere Zaragoza, Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra, Lic. Leticia González Rubio Rivera, Lic. Osvelia Ibarra Morales, C. Tania Verónica Núñez Valdez, Lic. Claudia Elizabeth Olachea León, C. Cerafina Argüelles Méndez, Lic. Horacio Sandoval Gómez, Lic. José Manuel Melero Astorga.

Al personal del Campo Agrícola del CIBNOR, por su gran ayuda en la toma de muestras en campo: Pedro Luna García, Adrián Jordán Castro, Saúl Edel Briseño Ruiz, José Raymundo Ceseña Núñez, Miguel Díaz Ramírez.

Al personal de los Laboratorios de Servicios del CIBNOR por el apoyo para la realizar el presente trabajo: Laboratorio de Análisis Químico Proximal: M.C. Sonia Guadalupe Rocha Meza, I.B.Q. María Dolores Rondero Astorga, I.B.Q. Sindi Areli Juan Antúnez; Laboratorio de Edafología: M.C. Manuel Salvador Trasviña Castro, I.B.Q. Miriam Lizzeth Hernández de Haro; Laboratorio de Espectrofotometría: Baudilio Acosta Vargas, Griselda Peña Armenta.

Al personal de Biblioteca, por su apoyo brindado durante el periodo de maestría: Ana María Talamantes Cota, Susana Luna García, María Esther Ojeda Castro, Elizabeth Guadalupe Sánchez.

Muchas gracias a las personas que contribuyeron en mi formación académica: Diana Leticia Dorantes Salas, Dra. Yolanda Maya Delgado, Dra. Sara Cecilia Díaz Castro, Dra. Aurora Breceda Solis-Cámara, Dra. Carmen Blázquez, M.C. José Juan, M.C. Eduardo

Juárez León, Dr. José Luis León de la Luz, Dr. Gustavo Arnaud Franco, Dr. Enrique Troyo Diéguez, Dr. Fernando García Carreño, Aradit Castellanos Vera, Dra. Martha Reyes Becerril, Dr. Carlos Eliud Angulo Valadez, Dr. Francisco Javier Magallón Barajas, Dr. Héctor Nolasco Soria, Dra. Elena Palacios Mechetnov, Dr. Ilie Sava Racotta Dimitrov, Dr. Juan Ángel Larrinaga Mayoral, Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga, Dr. Pedro Cruz Hernández, Dr. Ricardo Rodríguez Estrella, Dr. Daniel Bernardo Lluch Cota, Dr. César Salinas Zavala, Dr. Marco Antonio Almendarez Hernández, Dr. Ricardo Pérez Enríquez, Dr. Alfredo Ortega Rubio, Dr. Enrique Morales Bojórquez, Dr. Luis Brito Castillo.

A personas que colaboraron en el presente trabajo:

Dr. Héctor González García, M.C. María del Carmen Mercado Guido, Lic. Lidia Hirales Lucero, J. Agustín Argueta Arriaga, Fernando Ayala Niño, Nicole Adriana Harmelin García, Joaquín Rivera Rosas, Gil Ezequiel Ceseña Beltrán, Ariel Arturo Cruz Villacorta, Lic. Edgar Yuen Sánchez, M.C. Claudia Jeannette Pérez Estrada, M.C. Héctor Cirilo Fraga Palomino, M.C. Álvaro González-Michel, Geol. Ernesto Díaz Rivera y Arturo González.

A mis compañeros de generación 2013-2015.

Paulina Adams Arteche, Miriam Goretty Angulo Villavicencio, Martha Guadalupe Barrera García, Alexia Paulette Buchoul Poiraud, Perla Carlos García, Luis Arón Chávez Infante, Iris Aurora Del Castillo Velasco Martínez, Mayra Guadalupe Fuente Gómez, Leandro Nicolás Getino Mamet, Florent Jacques Francois Gomis Covos, Fredy Hernández Uribe, José Andrés Hernández Gurrola, Pablo Lobera Álvarez, Jesús Antonio López Carvallo, Yoo Edward Lucero Rivera, Héctor Rodrigo Nolasco Alzaga, Nairobi Pacheco Carlón, Carlos Alejandro Pérez Rojas, Jesús Alejandro Rodríguez Miranda, Santos Rene Serrano Silvas, Edgar Asdrúbal Trujillo García, Violeta Cassandra Vera Cuevas.

Agradezco a las personas que han estado al pendiente de mi vida personal y profesional: Guille Núñez Avilés, Familia Paniagua Barraza, Profe Hugo Enrique Hernández Contreras, Rodrigo Anzaldo Carrillo, Verónica Torrez, Dalia León Valdez, Domingo León Ojeda, Alfonso Zepeda Corrales y Jorge Zepeda.

Al señor Pedro Luna Bonilla, propietario del Rancho “El Bajío” por facilitar el predio para desarrollar el trabajo de campo.

CONTENIDO

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
CONTENIDO.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	7
4. HIPÓTESIS.....	8
5. OBJETIVO GENERAL	8
5.1. Objetivos específicos	8
6. MATERIALES Y MÉTODOS	9
6.1. Localización de los sitios de estudio.....	9
6.2. Registro de variables climatológicas en los sitios de estudio	10
6.3. Muestreo de suelo en los sitios de estudio.....	11
6.4. Selección de especies leguminosas.....	12
6.5. Colecta de especies leguminosas forrajeras.....	12
6.6. Análisis químico proximal de las especies de leguminosas	13
6.7. Análisis mineral de las especies leguminosas.....	14
6.8. Diseño experimental	14
6.9. Análisis estadístico	14
7. RESULTADOS	15
7.1. Estacionalidad de variables climatológicas y su relación con la composición físico-química del suelo y químico-mineral de las especies leguminosas.....	15
7.1.1. Sitio “El Bajío”	15
7.1.1.1. Relación de variables climatológicas y variables físico-químicas del suelo.....	15
7.1.1.2. Relación de variables climatológicas y variables químicas de especies de leguminosas	17
7.1.1.3. Relación de variables climatológicas y variables minerales de especies de leguminosas	17
7.1.2. Sitio “El Comitán”	19
7.1.2.1. Relación de variables climatológicas y variables químicas del suelo	19
7.1.2.2. Relación de variables climatológicas y variables químicas de especies de leguminosas	19
7.1.2.3. Relación de variables climatológicas y variables minerales de especies de leguminosas	21
7.2. Relación de variables físico-químicas del suelo con la composición químico-mineral de las especies leguminosas en los sitios de estudio	23
7.2.1. Sitio “El Bajío”	23

7.2.1.1. Relación de variables físico-químicas del suelo y variables químicas de las especies leguminosas	23
7.2.1.2. Relación de variables físico-químicas del suelo y variables minerales de las especies leguminosas	24
7.2.2. Sitio ““El Comitán””	24
7.2.2.1. Relación de variables físico-químicas del suelo y variables químicas de las especies leguminosas	24
7.2.2.2. Relación de variables físico-químicas del suelo y variables minerales de las especies leguminosas	25
7.3. Variabilidad de las características químico-minerales de las especies leguminosas y físico-químicas del suelo en los sitios de estudio	25
7.3.1. Sitio “El Bajío”	25
7.3.1.1. Fibra detergente ácida, lignina detergente ácida, celulosa y hemicelulosa de especies leguminosas	25
7.3.1.2. Variables químicas (proximal) de especies leguminosas	26
7.3.1.3. Contenido mineral de especies leguminosas	27
7.3.1.4. Variables físico-químicas del suelo	27
7.3.2. Sitio “El Comitán”	32
7.3.2.1. Fibra detergente ácida, lignina detergente ácida, celulosa y hemicelulosa de especies leguminosas	32
7.3.2.2. Variables químicas (proximal) de especies leguminosas	33
7.3.2.3. Contenido mineral de especies leguminosas	33
7.3.2.4. Variables físico-químicas del suelo	36
8. DISCUSIÓN	39
9. CONCLUSIONES	67
10. PERSPECTIVAS	71
11. LITERATURA CITADA	72
12. ANEXOS.....	85
12.1. Análisis de variables físico-químicas del suelo	85
12.2. Análisis químico proximal de muestras vegetales	94
12.3. Análisis de fibras en muestras vegetales.....	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio. Sitio A: Rancho “El Bajío”; Sitio B: “El Comitán” 10

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de correlación y significancia de variables climatológicas y variables físico-químicas del suelo del sitio “El Bajío”.....	16
Tabla 2. Valores de correlación y significancia de variables climatológicas y variables químicas de especies leguminosas del sitio “El Bajío”.....	18
Tabla 3. Valores de correlación y significancia de variables climatológicas y variables minerales de especies leguminosas del sitio “El Bajío”.....	18
Tabla 4. Valores de correlación y significancia de variables climatológicas y variables físico-químicas del suelo del sitio “El Comitán”.....	20
Tabla 5. Valores de correlación y significancia de variables climatológicas y variables químicas de especies leguminosas del sitio “El Comitán”.....	21
Tabla 6. Valores de correlación y significancia de variables climatológicas y variables minerales de especies leguminosas del sitio “El Comitán”.....	22
Tabla 7. Valores de correlación y significancia de variables físico-químicas del suelo y químicas de especies leguminosas del sitio “El Bajío”.....	23
Tabla 8. Valores de correlación y significancia de variables físico-químicas del suelo y variables minerales de especies leguminosas del sitio “El Bajío”.....	24
Tabla 9. Valores de correlación y significancia de variables físico-químicas del suelo y químicas de especies leguminosas del sitio “El Comitán”.....	25
Tabla 10. Valores de correlación y significancia de variables físico-químicas del suelo y variables minerales de las especies leguminosas del sitio “El Comitán”.....	25
Tabla 11. Análisis de varianza (cuadrados medios) de características químicas de las especies leguminosas del sitio “El Bajío”.....	26
Tabla 12. Análisis de varianza (cuadrados medios) para variables químicas (proximal) del sitio “El Bajío”.....	26
Tabla 13. Promedio de variables químicas (proximal) de las especies leguminosas del sitio “El Bajío”.....	27
Tabla 14. Análisis de varianza (cuadrados medios) del contenido mineral de especies leguminosas del sitio “El Bajío”.....	30

Tabla 15. Promedio del contenido de magnesio y hierro de especies leguminosas del sitio “El Bajío” considerando las estaciones del año.....	30
Tabla 16. Promedio del contenido de potasio, magnesio y manganeso de especies leguminosas del sitio “El Bajío”.....	30
Tabla 17. Análisis de varianza (cuadrados medios) de variables físico-químicas del suelo del sitio “El Bajío”.....	31
Tabla 18. Promedio de variables físico-químicas del suelo del sitio “El Bajío” considerando las estaciones del año.....	31
Tabla 19. Promedio de variables físico-químicas del suelo del sitio “El Bajío” considerando las especies leguminosas.	31
Tabla 20. Promedio de variables físico-químicas del suelo del sitio “El Bajío” considerando la interacción de los factores estación×especie.	32
Tabla 21. Análisis de varianza (cuadrados medios) de variables químicas de especies leguminosas del sitio “El Comitán”.....	32
Tabla 22. Análisis de varianza (cuadrados medios) para variables químicas (proximal) del sitio “El Comitán”.....	33
Tabla 23. Promedio de variables proximales de las especies leguminosas del sitio “El Comitán”.....	33
Tabla 24. Análisis de varianza (cuadrados medios) del contenido mineral de especies leguminosas del sitio “El Comitán”.....	35
Tabla 25. Promedio del contenido mineral de especies de leguminosas del sitio “El Comitán” considerando las estaciones del año.....	35
Tabla 26. Promedio del contenido mineral de especies leguminosas del sitio “El Comitán”.....	35
Tabla 27. Promedio del contenido mineral de especies leguminosas del sitio “El Comitán”, considerando la interacción de los factores estación×especie.	36
Tabla 28. Análisis de varianza (cuadrados medios) de variables físico-químicas del suelo del sitio “El Comitán”.....	37
Tabla 29. Promedio de variables físico-químicas del suelo del sitio “El Comitán” considerando las estaciones del año.....	37

Tabla 30. Promedio de variables físico-químicas del suelo del sitio “El Comitán” considerando las especies leguminosas.	38
--	----

1. INTRODUCCIÓN

El interés por las zonas áridas y semiáridas, ha cobrado especial importancia en los últimos años, esto debido a que son más susceptibles y vulnerables a las variaciones climáticas como son el incremento significativo de la temperatura, cambios bruscos en las precipitaciones o bien la concentración de la población en estas zonas (Debra *et al.*, 2009). Lo anterior implica un aumento en la demanda de los recursos para que la población humana continúe coexistiendo. Las zonas áridas se encuentran entre los paisajes más delicados de la tierra y es por eso que son considerados como ecosistemas frágiles (Ezcurra *et al.*, 2006), ya que la vegetación crece lentamente, por lo que su productividad primaria es de las más pobres si se compara con otros biomas y tardan demasiado tiempo en recuperarse si son dañados por cualquier disturbio.

En estas zonas, existen varios factores que interactúan y que le dan una particularidad a la vida de los organismos que las habitan, ya que la vida es controlada principalmente por una escasez general de agua y por tal motivo la escasez de alimentos (Foroughbakhch *et al.*, 2013). La concentración y disponibilidad de estos recursos vitales varían mucho en tiempo y espacio, entre los años, así como dentro del mismo año. Estos son periodos cortos de agua y la abundancia de alimentos después de las lluvias, pero su momento, la duración y el nivel son variables e impredecibles (León de la Luz y Domínguez, 2006). Sin embargo, dicho recurso vital, tal como es el alimento, es necesario que sea aprovechado por otros organismos de la cadena alimenticia.

Una parte considerable de la República Mexicana se encuentra ubicada en zona árida o semiárida y en ella se lleva a cabo la ganadería de manera extensiva (INEGI, 2013). Además, dicha actividad se ha visto como una amenaza para la conservación de la vegetación, incluso se realizan actividades para contrarrestar las prácticas erróneas y que lleva al sobrepastoreo, a tal grado que extensiones de terreno se deben que excluir del ganado que pastorea, o bien se convierten en reservas ecológicas. Sin embargo, existe una relación importante entre el clima, suelo, animal y planta que mantiene un equilibrio entre sí, mediante mecanismos que regulan y que permiten recompensar las variaciones características de los ecosistemas naturales. De tal manera que cuando existe una limitante

entre ellos, se imponen severas restricciones nutricionales tanto en suelo, plantas forrajeras y finalmente se manifiesta en una deficiencia por parte del animal (Ramírez *et al.*, 2005). Las comunidades arbustivas, así como las áreas de matorral sarcocaulé, están fuertemente asociadas a condiciones de aridez, dadas las características peculiares de este estrato vegetativo, que le permite sobrevivir y desarrollarse aún en condiciones de extrema sequía (Medina *et al.*, 2013). Tales condiciones incluyen una precipitación escasa y errática temporal y espacial, pulsos de lluvia, altas temperaturas, variación diaria y estacional, humedad baja, vientos fuertes, suelos con poca materia orgánica y alto contenido de sales, erosión violenta por la acción del viento y agua, así como una evaporación mayor que la precipitación (Romero *et al.*, 2013).

En el presente estudio se realizó un análisis químico y mineral de cinco especies de leguminosas en dos sitios de matorral sarcocaulé; en el primer sitio denominado El Bajío, existe pastoreo todo el año, mientras que en el segundo sitio denominado “El Comitán”, existe exclusión de animales. Se registraron las variables climáticas de ambos sitios, así como las propiedades físico-químicas del suelo y químico-mineral de plantas de cinco especies de leguminosas, *Prosopis articulata* (Mezquite), *Parkinsonia floridum* (Palo verde), *Parkinsonia praecox* (Palo brea), *Lysiloma candida* (Palo blanco) y *Olneya tesota* (Uña de gato), que forman parte de la vegetación de un matorral sarcocaulé en el Estado de Baja California Sur, además son especies consumidas por animales domésticos (bovino, caprino, caballo y mular) que pastorean durante los 12 meses del año en las áreas donde existen las especies que tienen importancia en la nutrición de los animales en pastoreo en agostadero (Armenta-Quintana *et al.*, 2011) debido a que estas plantas proporcionan alimento durante todo el año.

2. ANTECEDENTES

En los ecosistemas áridos del mundo, las especies arbustivas ofrecen una gran variedad de recursos que es posible explotar (Huston *et al.*, 1981) siendo el aprovechamiento de las especies forrajeras uno de los más importantes para la producción animal. El Estado de Baja California Sur, México, se considera una zona extremadamente árida (FAO, 1987) y se localiza al noroeste de México, cuya flora se compone principalmente de arbustos (92%), de los cuales, el 23% se considera especies endémicas (Breceda *et al.*, 1991) que son consumidas por el ganado, como su principal alimento (Arriaga y Cancino, 1992). Estas especies se ubican en sistemas de producción ganaderos tradicionales, donde la ganadería extensiva ocupa una superficie de 4.7 millones de hectáreas, con un número considerable de familias que se dedican a esta actividad, con más de 4 mil 500 productores y un valor total del inventario ganadero de 1406 millones de pesos (INEGI, 2013). La ganadería en esta región es afectada por la sequía recurrente. De acuerdo con los datos de registros de 102 estaciones meteorológicas de los cinco municipios del Estado de Baja California Sur, para el periodo de 1961 a 2003, el 42% de los años presentan precipitaciones superiores a los 200 mm, lo cual obedece principalmente a la presencia de ciclones, mientras que el 31% de los años registra precipitaciones por debajo de los 100 mm, lo cual hace suponer que en 3 de cada 10 años se presentan sequías en la entidad, registrándose cerca del 68% de las lluvias durante los meses de julio a octubre.

En el agostadero árido y semiárido, las características físico-químicas del suelo como son textura, conductividad eléctrica (CE), pH, materia orgánica (MO), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Fósforo (P) y las variables climáticas como la precipitación pluvial, humedad, presión atmosférica, temperatura, índice de aridez y velocidad del viento, se interrelacionan para intervenir en la sobrevivencia, crecimiento y permanencia de plantas del ecosistema (Debra *et al.*, 2009). Factores relacionados con el suelo, la planta y los animales afectan la concentración y disponibilidad de los minerales y causan desequilibrios en el animal con distinta intensidad a través del año.

El matorral sarcocaula es el más abundante en el Estado de Baja California Sur, se caracteriza por la dominancia de arbustos de tallos carnosos, gruesos y algunos con corteza papirácea. Los climas en los que se desarrolla van desde muy secos y semicálidos con

lluvias invernales y cálidos con lluvias de verano, cuyas precipitaciones totales anuales varían desde menos de 100 mm en los climas más áridos hasta los 300 mm en los demás, con temperaturas medias anuales de 16 a 24° C. Este tipo de matorral crece tanto en regosoles, yermosoles y litosoles, así como en algunos vertisoles y fluvisoles (INEGI, 1995).

De acuerdo con la carta de vegetación Oficial Mexicana, el matorral sarcocaula es el tipo de vegetación dominante en gran parte de la península de Baja California. Este tipo de vegetación es una variante del matorral xerófilo, característico de las zonas áridas de México. Esta vegetación se caracteriza por la dominancia de formas arbóreas y arbustivas, armadas y no armadas, principalmente de la familia de las leguminosas y particularmente por la abundancia de formas suculentas (Agaváceas, cactáceas) y semisuculentas (Burséráceas, euforbiáceas) con ramaje tortuoso y a veces corteza exfoliante (INEGI, 2013). Existe un proceso físico del tejido vegetal desde el arranque por parte del animal, además de existir otros factores que se alteran debido al pastoreo como es el suelo, composición florística y biomasa (Anderson, 1983).

Las especies de leguminosas tienen un sistema radicular profundo que les permite absorber a través de las raíces, los nutrientes desde el suelo. La caída posterior de hojarasca enriquece los horizontes superficiales del suelo así como la presencia de animales. Además, las leguminosas tienen la capacidad de fijar nitrógeno lo cual produce un enriquecimiento de nutrientes en el suelo, esto debido a la actividad biológica de los microorganismos (Velderrain-Alcaraz *et al.*, 2010).

El contenido mineral de los forrajes representa una limitante muy importante en los sistemas de producción animal. Sin embargo, la deficiencia de estos es generalizada e independiente de la variación de la oferta forrajera. El tipo de suelo, las prácticas inapropiadas de fertilización y la utilización de suplementos minerales de calidad baja, determinan en muchas explotaciones ganaderas, deficiencias o desbalances de minerales en la cadena suelo, planta y animal (Vivas *et al.*, 2011).

Existen varios aspectos ecológicos negativos del uso de la tierra. Ejemplo de ello es el sobrepastoreo que provoca un cambio negativo en la composición botánica de las especies consumidas por los animales, incluso generan áreas grandes con suelo desnudo (Grulke.

1994). De la Orden *et al.* (2006) reportan que el pastoreo continuo y con una alta intensidad de carga, influyó directamente sobre la producción total de forraje y probablemente sobre el hábito de crecimiento de las especies que componen el pastizal. En el área pastoreada, la acumulación de forraje no llegó a los 1,500 kg ha⁻¹ en el año de mayor producción, mientras que en el área excluida, la cantidad de biomasa aérea superó los 6,000 kg ha⁻¹. Di Bella *et al.* (2013) compararon un área de exclusión y midieron el efecto del pastoreo sobre la vegetación y la salinidad del suelo durante treinta años, reportando que las perturbaciones por animales domésticos son beneficiosas, ya que aumenta la diversidad florística al disminuir la cubierta por la especie dominante. Además, reportaron que en el sitio donde hubo pastoreo continuo, causó un cambio en la composición de la vegetación, disminuyendo la calidad del forraje. Sin embargo, se incrementó la aparición de especies de reptiles. Cuevas y Quesne (2005) evaluaron la respuesta de la vegetación durante 27 meses de exclusión, en el cual detectaron cambios significativos en la composición florística, altura y la densidad de las plantas de especies forestales. Además, los pastizales presentaron un empobrecimiento gradual, resultado de la erosión severa del suelo. Sin embargo, concluyen que el efecto del pastoreo por ganado es menor a lo esperado y que existen otros factores que retrasan la recuperación de los pastizales como es la fauna y que esta puede causar retraso en la sucesión (Baraza y Valiente-Banuet, 2012). Los herbívoros constituyen un elemento muy importante en la dinámica y funcionamiento básico de la vegetación (Russell *et al.*, 2001); afectan la composición final de la comunidad vegetal, la productividad del ecosistema y el ciclo de nutrientes (Hobbs, 1996; Belsky y Blumenthal, 1997), dando lugar a efectos en cascada en las poblaciones de otros productores o consumidores (Baraza *et al.*, 2007). En muchas zonas, los principales herbívoros son animales domésticos de pastoreo extensivo y son los que adquieren un papel importante en la modelación de la vegetación.

El principal impacto de los ungulados sobre los ecosistemas se deriva de la remoción de gran cantidad de tejidos vegetales (Rooney y Waller, 2003). La pérdida de tejido resulta en un efecto negativo directo sobre el crecimiento de la planta e indirecto alterando los procesos de producción de flores, polinización y producción de semillas viables (Mothershead y Marquis, 2000; Poveda *et al.*, 2003; Parra-Tabla y Herrera 2010). Sin

embargo, también se describen especies cuya respuesta a la pérdida de tejido por herbívoros es una sobrecompensación con un aumento del crecimiento y la producción de flores, frutos y/o semillas respecto a plantas no consumidas. Por otro lado, el efecto que el consumo por herbívoros pueda tener en una especie, también depende del impacto de los mismos sobre sus competidores, de tal modo que la exclusión de los herbívoros resulta en un efecto negativo indirecto al aumentar la competencia (Dyer *et al.*, 2010). Por tanto, no se puede decir que la presencia de herbívoros sea necesariamente negativa para el desarrollo de una especie vegetal determinada (Baraza *et al.*, 2007).

Baraza y Valiente-Banuet (2012) encontraron un efecto notable por exclusión de ganado en el tamaño de dos especies estudiadas (*Jasonia candicans* y *Boerhavia erecta*). Fuera de los cercados, el consumo que de éstas hacen las cabras, tuvo un efecto directo sobre las plantas al reducir su tamaño, además se sumó una producción menor de órganos reproductores. Sin embargo, la relación entre la cobertura de la copa y el número de órganos reproductores producidos fue mayor en las plantas dentro de las exclusiones que en las de fuera. En el caso de la segunda especie (*Boerhavia erecta*) existen indicios de adaptación al pastoreo, pues ésta parece compensar la pérdida de tejido vegetativo con una producción mayor de flores, ya que no se encontró ningún efecto de la exclusión del ganado en el número de órganos reproductores formados.

3. JUSTIFICACIÓN

Considerando la importancia que tienen los recursos naturales para la sostenibilidad de la vida en las zonas áridas y semiáridas del mundo, así como los factores que limitan su abundancia y por consiguiente el abastecimiento de alimento en la cadena alimenticia, se plantea esta investigación como una necesidad para conocer la interacción de las variables climatológicas sobre los nutrientes del suelo y estos a su vez con los nutrientes de cinco especies de leguminosas presentes en el matorral sarcocaulé que son de importancia en la nutrición del ganado doméstico en estas zonas. Asimismo, con esta investigación se pretende contribuir a una comprensión mayor de las interacciones clima-suelo-planta en el ecosistema del matorral sarcocaulé, aumentar la capacidad para una toma de decisiones adecuada acerca de su manejo sostenible y completar la base de conocimiento existente acerca de estas interacciones en otros ecosistemas.

4. HIPÓTESIS

Si la variabilidad clima-suelo se interrelacionan e intervienen en la nutrición de plantas de un ecosistema, se espera una diferenciación en la composición químico-mineral de las especies leguminosas dentro de sitios de muestreo y entre estaciones.

5. OBJETIVO GENERAL

Determinar la variación estacional climática, edáfica y sus efectos en la composición químico-mineral de leguminosas asociadas al matorral sarcocaulé en dos sitios del municipio de La Paz, Baja California Sur.

5.1. Objetivos específicos

1. Registrar la estacionalidad de variables climatológicas en los sitios y determinar su relación con la composición físico-química del suelo y químico-mineral de las especies leguminosas.
2. Determinar la relación de las variables físico-químicas del suelo con la composición químico-mineral de las especies leguminosas en los sitios de estudio.
3. Determinar la variabilidad de las características químico-minerales de las especies leguminosas y físico-químicas del suelo en los sitios de estudio.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Localización de los sitios de estudio

El presente trabajo se desarrolló en dos sitios colindantes a la ciudad de La Paz, Baja California Sur, México (Fig. 1). El primer sitio corresponde al predio denominado Rancho “El Bajío” (sitio A) localizado en las coordenadas 24°04'41.30” N y 110°32'10.50”O, perteneciente al Ejido “El Centenario”, en el municipio de La Paz, en el kilómetro 28.5 de la carretera transpeninsular al norte de la ciudad de La Paz. Las temperaturas máximas, mínima, media y la precipitación total en el 2013 fueron, 39.0° C, 8.0° C, 22.8° C y 53 mm (Medina *et al.*, 2013). Cabe mencionar que dicho predio cuenta con ganado caprino criollo, en condiciones de producción extensiva, así como ganado bovino y equino, los cuales pastorean a libre acceso y sin ningún manejo. En esta explotación, los animales son liberados al agostadero, en donde recorren grandes distancias en busca de alimento de plantas forrajeras nativas.

El segundo sitio es el área de la Estación Biológica Dra. Laura Arriaga Cabrera, conocida como Reserva Ecológica “El Comitán” (sitio B), en el municipio de La Paz, Baja California Sur. El predio “El Comitán” pertenece al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR), Campus La Paz; consta de 217 ha, de las cuales 115 son consideradas para investigación, conservación de la biodiversidad local e incluso para coadyuvar a la difusión del conocimiento de la naturaleza. En esta reserva no existe presencia de ganado doméstico, solo fauna silvestre como liebres, conejos, roedores, entre otras especies animales asociadas al matorral sarcocaulé. “El Comitán” se ubica a 12 km al oeste de la ciudad de La Paz, localizado en las coordenadas geográficas 24° 06' N y 110° 26' W. El área pertenece marginalmente a una llanura aluvial conocida como Valle del Carrizal-La Paz, caracterizado por suelos arenosos profundos, con escasa pendiente, buenas condiciones de aireación, altos contenidos de arena, pH ligeramente alcalinos y con menos del 1 % en contenido de materia orgánica (Toyes *et al.*, 2013). Cabe señalar que este sitio, estuvo sometido a una presión antrópica, esto debido a la producción ganadera y a la extracción de leña selectiva que eran comunes; sin embargo, hace 15 años el área fue vallada y se prohibieron estas prácticas. En la actualidad, los únicos signos de perturbación

se observan en individuos de *Prosopis articulata* con retraso en el crecimiento debido al adelgazamiento selectivo de ramas, obtenidas en el pasado para la producción de carbón vegetal (Maya y Arriaga, 1996).

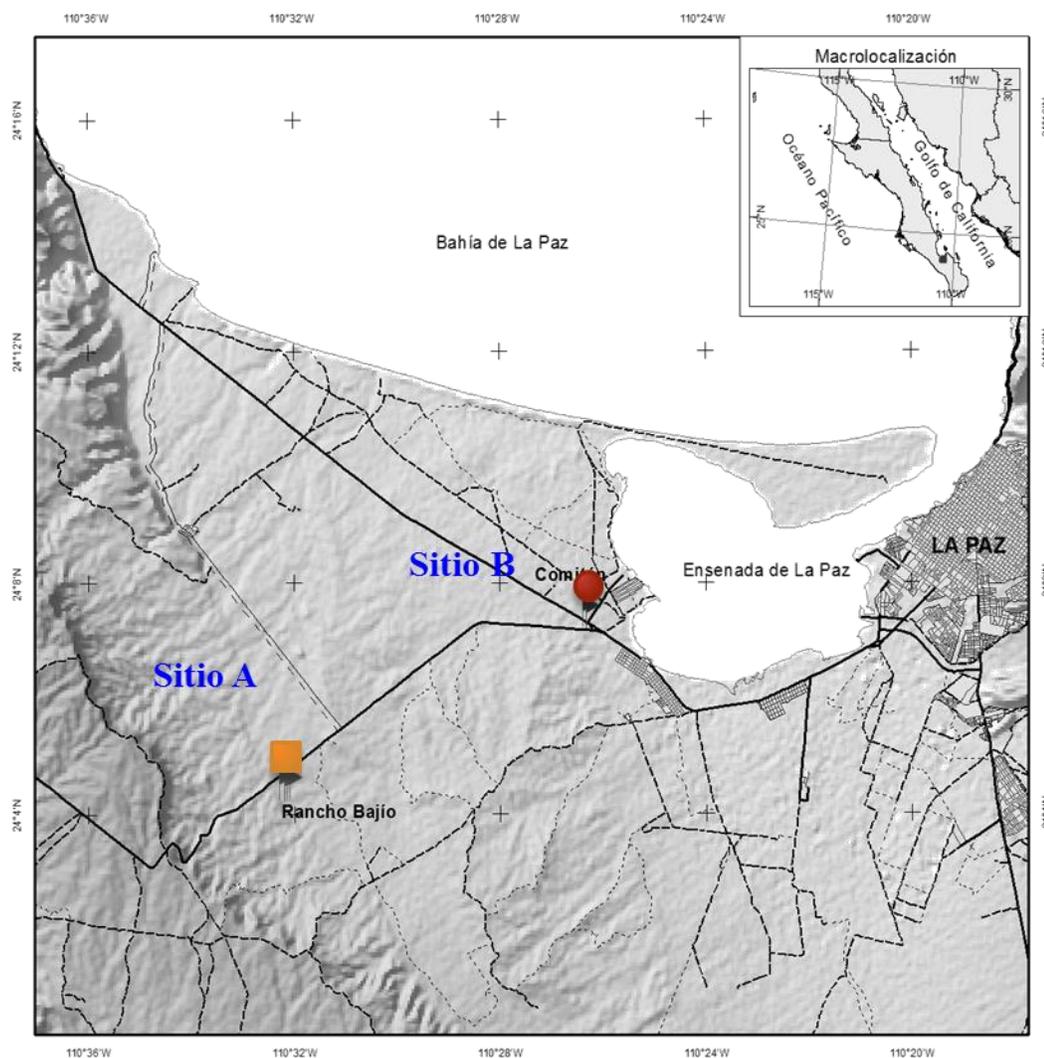


Figura 1. Área de estudio. Sitio A: Rancho “El Bajío”; Sitio B: “El Comitán”.

6.2. Registro de variables climatológicas en los sitios de estudio

El periodo del registro de variables climatológicas comprendió desde el mes de septiembre de 2013 al mes de agosto de 2014, ajustándose por estaciones del año, es decir, se

consideró como otoño a los meses de septiembre, octubre y noviembre; para invierno se consideraron los meses de diciembre, enero y febrero; para primavera se consideraron los meses de marzo, abril y mayo, mientras que para verano, los meses considerados fueron junio, julio y agosto. En cada uno de los sitios de estudio “El Bajío” y “El Comitán”, se instaló una estación climatológica portátil (Vantage Pro2^{MR} Davis Instruments, USA), la cual registró las variables climatológicas: temperatura promedio (Tp); temperatura máxima (Tmx); temperatura mínima (Tmn); humedad (H); punto de rocío (Pr); velocidad promedio del viento (Vpv); velocidad máxima del viento (Vmxv); sensación térmica del viento (Stv); índice de calor (Ic); índice de temperatura, humedad, viento (Ithv); índice de temperatura, humedad, radiación solar, viento (Ithrv); precipitación (Pc); radiación solar (Rs); energía solar (Es); radiación solar máxima (Rsmx); índice de rayos ultravioleta (Iruv); dosis de rayos ultravioleta (Druv); máxima de rayos ultravioleta (Mxruv) y evapotranspiración (E), durante las 24 horas del día de todo el periodo del trabajo, el cual, como se mencionó anteriormente, inició en septiembre de 2013 y concluyó en agosto de 2014.

6.3. Muestreo de suelo en los sitios de estudio

En cada sitio de estudio y área circundante de las especies elegidas, se trazó una circunferencia de 2 m alrededor de cada planta seleccionada previamente y se tomaron como mínimo 500 g de muestra de suelo a diferentes profundidades (5, 30 y 60 cm), utilizando para ello una pocera. Las muestras se colocaron en bolsas de polietileno, libres de cualquier residuo o impureza, las cuales se etiquetaron con los datos de fecha, sitio, especie y profundidad, necesarios para su identificación y control. Se consideraron tres repeticiones por especie por estación del año. Las muestras se trasladaron al laboratorio de edafología del CIBNOR para el análisis físico-químico correspondiente, considerando para ello las metodologías propuestas en la norma NOM-021-SEMARNAT 2000. Para cuantificar el pH se utilizó el método AS-02, la materia orgánica se determinó por el método AS-07. Calcio y magnesio soluble se determinaron por técnicas convencionales (Cheng y Bray 1951), la textura (tamaño de partículas) se determinó con equipo autoanalizador laser Horiba (método D.W. Lewis, 1984). El fósforo soluble mediante el

procedimiento reportado por Jackson (1958). Las técnicas utilizadas se describen en extenso en el anexo 12.1 del presente documento.

6.4. Selección de especies leguminosas

Para elegir las cinco especies de leguminosas del estudio, se realizó una revisión de literatura previa al inicio del trabajo de campo, consultando las referencias de León de la Luz y Domínguez-Cadena (2006), Ramírez-Orduña *et al.* (2008), Armenta-Quintana *et al.* (2011), León de la Luz *et al.* (2012), Medina-Córdova *et al.* (2013), Toyas-Vargas *et al.* (2013), esto con la finalidad de tener la certeza que las leguminosas forrajeras a elegir estuvieran reportadas como especies consumidas por el ganado en pastoreo. También se consideró que las especies elegidas estuvieran presentes en ambos sitios, “El Bajío” y “El Comitán”, realizando para ello un recorrido por ambos sitios y colectando una muestra para su identificación en el herbario del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Las especies vegetales forrajeras leguminosas seleccionadas para el presente estudio fueron *Prosopis articulata* (Mezquite), *Parkinsonia floridum* (Palo verde), *Parkinsonia praecox* (Palo brea), *Lysiloma candida* (Palo blanco) y *Olneya tesota* (Uña de gato).

6.5. Colecta de especies leguminosas forrajeras

En los dos sitios de investigación se realizaron muestreos trimestrales (tres repeticiones por especie, por estación o época del año) en un periodo de un año con la finalidad de cubrir las cuatro estaciones (otoño, invierno, primavera y verano). La metodología del trabajo se basó en el muestreo focal, que es un método de selección de un solo individuo por especie, es decir un solo sujeto (o unidad muestral) se convierte en el foco de la atención durante el tiempo del estudio (Nyhagen *et al.*, 2001; Sazima *et al.*, 2005). Por lo anterior, en cada sitio, se eligió al azar un solo individuo de cada especie para realizar los muestreos durante todo el periodo de estudio. En cada sitio y de cada especie, se tomaron muestras al azar de diferentes partes de la planta, formando una muestra compuesta que incluyó hojas, flores y vainas, dependiendo de la presencia de éstas en cada especie, con un peso aproximado por muestra de 350 g. Las muestras se colocaron en bolsas de papel previamente etiquetadas (fecha, sitio y especie). Posteriormente se transportaron al laboratorio de análisis químico

proximal y al laboratorio de espectrofotometría de absorción atómica del CIBNOR para los análisis correspondientes.

6.6. Análisis químico proximal de las especies de leguminosas

Las muestras de las cinco especies de leguminosas forrajeras se analizaron mediante las técnicas del Official Methods of Analysis of AOAC International 18th edition (2005). Las variables del análisis proximal incluyeron humedad, la cual se determinó al pesar 2 g de cada muestra por triplicado, secando cada muestra en estufa y una vez que se enfriaron se volvieron a pesar y por diferencia se obtuvo la humedad. La misma muestra se introdujo a la mufla durante 5 horas a 600 °C para obtener cenizas. Para el resto de los análisis, se realizó una preparación de la muestra, la cual consistió en secar la muestra en horno a 70° C por un tiempo de 18-24 h para luego molerla. La determinación de proteína cruda (PC), se realizó por el método de Dumas en el equipo Leco PF528 en 4 minutos (min). Para la determinación de lípidos se utilizó el equipo Soxtec Avantí 2050. La determinación de fibra cruda (FC) se realizó en el equipo Fibertec System M, mediante la técnica de hidrólisis ácido básica. La determinación de energía bruta se realizó en el equipo calorímetro Adiabático Parr 6400. La determinación del extracto libre de nitrógeno (ELN) se obtuvo mediante la sumatoria de los valores porcentuales determinados para la humedad, proteína cruda, lípidos (extracto etéreo), fibra cruda y ceniza y substrayendo el total de 100 por diferencia. Las técnicas de laboratorio, se describen con detalle en el anexo 12.2 del presente documento.

Una parte de las muestras secas de leguminosas previamente preparadas en el laboratorio de Análisis Químico Proximal del CIBNOR, se enviaron al laboratorio de Fisiología Ruminal de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez para la determinación de fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), lignina detergente ácido (LDA), celulosa y hemicelulosa. Las muestras se analizaron en el equipo Ankom (FDN, FDA, LDA) por la técnica de (Van Soest y Robertson, 1985). Los resultados de celulosa y hemicelulosa se obtuvieron por medio de estimación matemática, una vez obtenidos los datos de FDN, FDA y LDA. Las técnicas de laboratorio, se describen con detalle en el anexo 12.3 del presente documento.

6.7. Análisis mineral de las especies leguminosas

De las muestras secas previamente preparadas en el laboratorio de análisis químico proximal, se tomaron 0.5 g de cada muestra para realizar la digestión mediante el método EPA 3052 para obtener extracto acuoso ácido. Una vez obtenido el extracto, se procedió a realizar los análisis de macro y micro nutrientes (sodio, potasio, calcio, manganeso, cobre, zinc, hierro, magnesio y níquel) en un equipo de espectrofotometría de absorción atómica por la técnica de flama (Espectrofotómetro GBC).

6.8. Diseño experimental

Para cada sitio de estudio (“El Comitán” y “El Bajío”), los datos se ajustan a un diseño experimental de dos factores. El primer factor son las estaciones del año, con cuatro niveles (verano, otoño, invierno y primavera) y el segundo factor las especies de leguminosas con cinco niveles (*Prosopis articulata*, *Parkinsonia floridum*, *Parkinsonia praecox*, *Lysiloma candida* y *Olneya tesota*). Se consideraron tres repeticiones por especie por estación del año, es decir, si cada estación representa tres meses, cada mes se consideró una repetición. Adicionalmente, cada muestra tanto de las especies como del suelo, se analizaron por triplicado en los laboratorios correspondientes.

6.9. Análisis estadístico

Para cada sitio de estudio (“El Comitán” y “El Bajío”), los análisis estadísticos se realizaron en base a los factores en estudio y sus interacciones, factor 1: estaciones del año (con cuatro niveles), factor 2, especies de leguminosas (con cinco niveles). Se realizaron análisis de varianza univariados (ANOVA) considerando diferencias significativas a una $p \leq 0.05$. Para cumplir con los supuestos del ANOVA, las variables cuyas unidades se expresan en porcentaje, se transformaron mediante arcoseno (Little y Hills, 1989; Steel y Torrie, 1995). Cuando se encontraron diferencias significativas entre los factores y sus interacciones, se realizaron comparaciones múltiples de medias (Tukey HSD $p=0.05$). Se realizaron análisis de correlación múltiple de Pearson entre las variables en estudio.

7. RESULTADOS

7.1. Estacionalidad de variables climatológicas y su relación con la composición físico-química del suelo y químico-mineral de las especies leguminosas

7.1.1. Sitio “El Bajío”

7.1.1.1. Relación de variables climatológicas y variables físico-químicas del suelo

La tabla 1 muestra las correlaciones significativas que se presentaron entre las variables climatológicas y las variables físico-químicas del suelo en el sitio “El Bajío”. El pH y la evapotranspiración mostraron una correlación significativa pero negativa, mientras que la conductividad eléctrica se correlacionó significativamente y de manera positiva con la temperatura promedio, temperatura máxima, temperatura mínima, punto de rocío, sensación térmica del viento, índice de calor, índice de temperatura-humedad-viento, índice de temperatura-humedad-radiación solar-viento y precipitación. El calcio en el suelo mostró una correlación significativa y positiva con las variables temperatura promedio, temperatura máxima, temperatura mínima, sensación térmica del viento, índice de calor, índice de temperatura-humedad-viento, índice de temperatura-humedad-radiación solar-viento. El contenido de arena del suelo mostró una correlación significativa y negativa con la humedad, correlación positiva con la velocidad máxima del viento y con las variables radiación solar, energía solar y radiación solar máxima. También el contenido de limo, mostró una correlación con las mismas variables que la arena pero a la inversa, es decir, se correlacionó positivamente con la humedad y de manera negativa con la velocidad máxima del viento, radiación solar, energía solar y radiación solar máxima. El contenido de arcilla se correlacionó de manera positiva con la humedad y precipitación, de manera negativa con la velocidad máxima del viento y con las variables radiación solar y energía solar. El resto de las variables climatológicas no mostraron correlación significativa con las variables físico-químicas del suelo.

Tabla 1. Valores de correlación y significancia de variables climatológicas y variables físico-químicas del suelo del sitio “El Bajío”.

Variables del suelo	Variables climatológicas	Valor de correlación (<i>r</i>)	Probabilidad (<i>p</i>)
pH	E	-0.66	0.019
CE	Tp	0.65	0.023
CE	Tmx	0.64	0.026
CE	Tmn	0.65	0.022
CE	Pr	0.71	0.010
CE	Stv	0.65	0.023
CE	Ic	0.66	0.019
CE	Ithv	0.66	0.019
CE	Ithrv	0.65	0.023
CE	Pc	0.58	0.048
Ca	Tp	0.63	0.019
Ca	Tmx	0.66	0.019
Ca	Tmn	0.66	0.019
Ca	Stv	0.65	0.023
Ca	Ic	0.66	0.019
Ca	Ithv	0.61	0.034
Ca	Ithrv	0.65	0.023
Arena	H	-0.87	0.000
Arena	Vmxv	0.65	0.021
Arena	Rs	0.80	0.002
Arena	Es	0.81	0.002
Arena	Rsmx	0.72	0.009
Limo	H	0.87	0.000
Limo	Vmxv	-0.65	0.021
Limo	Rs	-0.81	0.002
Limo	Es	-0.82	0.001
Limo	Rsmx	-0.72	0.008
Arcilla	H	0.79	0.003
Arcilla	Vmxv	-0.64	0.026
Arcilla	Pc	0.63	0.028
Arcilla	Rs	-0.65	0.022
Arcilla	Es	-0.65	0.022

Tp= Temperatura promedio; Tmx= Temperatura máxima; Tmn= Temperatura mínima; H= Humedad; Pr= Punto de rocío; Vmxv= Velocidad máxima del viento; Stv= Sensación térmica del viento; Ic= Índice de calor; Ithv= Índice de temperatura, humedad, viento; Ithrv= Índice de temperatura, humedad, radiación solar, viento; Pc= Precipitación; Rs= Radiación solar; Es= Energía solar; Rsmx= Radiación solar máxima; E=Evapotranspiración; CE= Conductividad eléctrica; Ca= Calcio.

7.1.1.2. Relación de variables climatológicas y variables químicas de especies de leguminosas

La tabla 2 muestra las variables climatológicas y variables químicas de especies de leguminosas que mostraron correlación significativa. La proteína mostró correlación positiva con la precipitación. La fibra cruda mostró correlación significativa y positiva con la velocidad máxima del viento, la radiación solar, energía solar y radiación solar máxima. La energía se correlacionó positivamente con la temperatura mínima, punto de rocío, índice de calor, índice de temperatura-humedad-viento, índice de temperatura-humedad-radiación solar-viento. La variable fibra detergente ácida mostró correlación positiva con las variables velocidad máxima del viento, radiación solar, energía solar y radiación solar máxima. Por su parte, la lignina detergente ácida se correlacionó de manera positiva con las variables punto de rocío y precipitación. La celulosa mostró correlación negativa con la variable humedad y se correlacionó de manera positiva con las variables velocidad máxima del viento, radiación solar, energía solar y radiación solar máxima. La hemicelulosa mostró correlación positiva con la velocidad promedio del viento y negativa con la evapotranspiración.

7.1.1.3. Relación de variables climatológicas y variables minerales de especies de leguminosas

La tabla 3 muestra las variables climatológicas y variables minerales de especies de leguminosas que mostraron correlaciones significativas. El calcio mostró correlación negativa con la velocidad máxima de viento. El hierro se correlacionó de manera negativa con la humedad y de manera positiva con la velocidad promedio del viento.

Tabla 2. Valores de correlación y significancia de variables climatológicas y variables químicas de especies leguminosas del sitio “El Bajío”.

Variables químicas de leguminosas	Variables climatológicas	Valor de correlación (<i>r</i>)	Probabilidad (<i>p</i>)
Proteína	Pc	0.71	0.009
Fibra cruda	Vmxv	0.60	0.038
Fibra Cruda	Rs	0.71	0.009
Fibra Cruda	Es	0.71	0.009
Fibra Cruda	Rsmx	0.77	0.003
Energía	Tmn	0.58	0.046
Energía	Pr	0.73	0.007
Energía	Ic	0.61	0.036
Energía	Ithv	0.61	0.036
Energía	Ithrv	0.59	0.042
FDA	Vmxv	0.69	0.012
FDA	Rs	0.70	0.012
FDA	Es	0.70	0.011
FDA	Rsmx	0.64	0.025
LDA	Pr	0.59	0.042
LDA	Pc	0.77	0.004
Celulosa	H	-0.63	0.028
Celulosa	Vmxv	0.72	0.008
Celulosa	Rs	0.73	0.008
Celulosa	Es	0.73	0.007
Celulosa	Rsmx	0.66	0.018
Hemicelulosa	Vpv	0.63	0.028
Hemicelulosa	E	-0.61	0.035

Tmn= Temperatura mínima; H= Humedad; Pr= Punto de rocío; Vpv= Velocidad promedio del viento; Vmxv= Velocidad máxima del viento; Ic= Índice de calor; Ithv= Índice de temperatura, humedad, viento; Ithrv= Índice de temperatura, humedad, radiación solar, viento; Pc= Precipitación; Rs= Radiación solar; Es= Energía solar; Rsmx= Radiación solar máxima; E= Evapotranspiración; FDA= Fibra Detergente Ácida; LDA= Lignina Detergente Ácida.

Tabla 3. Valores de correlación y significancia de variables climatológicas y variables minerales de especies leguminosas del sitio “El Bajío”.

Variables minerales	Variables climatológicas	Valor de correlación (<i>r</i>)	Probabilidad (<i>p</i>)
Ca	Vmxv	-0.60	0.041
Fe	H	-0.71	0.010
Fe	Vpv	0.60	0.041

H= Humedad; Vpv= Velocidad promedio del viento; Vmxv= Velocidad máxima del viento; Ca= Calcio; Fe= Hierro.

7.1.2. Sitio “El Comitán”

7.1.2.1. Relación de variables climatológicas y variables químicas del suelo

La tabla 4 muestra las correlaciones significativas que se presentaron entre las variables climatológicas y las variables físico-químicas del suelo en el sitio “El Comitán”. La conductividad eléctrica se correlacionó negativamente con la velocidad promedio del viento y de manera positiva con las variables temperatura promedio, temperatura máxima, temperatura mínima, punto de rocío, sensación térmica del viento, índice de calor, índice de temperatura-humedad-viento, índice de temperatura-humedad-radiación solar-viento. El calcio se correlacionó positivamente con el punto de rocío. La arena mostró correlación negativa con la humedad y positiva con las variables radiación solar, energía solar, índice de rayos ultravioleta, dosis de rayos ultravioleta y máxima de rayos ultravioleta. La variable limo se correlacionó positivamente con la humedad y negativamente con las variables radiación solar, energía solar, índice de rayos ultravioleta, dosis de rayos ultravioleta, máxima de rayos ultravioleta (a la inversa que la arena).

7.1.2.2. Relación de variables climatológicas y variables químicas de especies de leguminosas

La tabla 5 muestra las variables climatológicas y del suelo que presentaron correlación significativa en el sitio “El Comitán”. El contenido de humedad de las especies leguminosas se correlacionó de manera positiva con el punto de rocío y de forma negativa con la velocidad promedio del viento. El contenido de cenizas se correlacionó negativamente con punto de rocío y precipitación, pero de forma positiva con la velocidad promedio del viento. La proteína de las especies mostró correlación positiva con las variables humedad ambiental y punto de rocío y de manera negativa con la velocidad promedio del viento. El extracto libre de nitrógeno se correlacionó positivamente con la velocidad promedio del viento, velocidad máxima del viento y con la evapotranspiración. El contenido de energía de las especies se correlacionó positivamente con las variables

humedad y punto de rocío, además se correlacionó de manera negativa con la velocidad promedio del viento y con la evapotranspiración. La fibra detergente ácida se correlacionó positivamente con las variables climatológicas radiación solar y energía solar. La celulosa se correlacionó de manera negativa con la humedad pero positiva con la velocidad promedio del viento, velocidad máxima del viento, radiación solar, energía solar, radiación solar máxima, índice de rayos ultravioleta, dosis de rayos ultravioleta y la evapotranspiración.

Tabla 4. Valores de correlación y significancia de variables climatológicas y variables físico-químicas del suelo del sitio “El Comitán”.

VARIABLES DEL SUELO	VARIABLES climatológicas	Valor de correlación (r)	Probabilidad (p)
CE	Tp	0.59	0.042
CE	Tmx	0.59	0.045
CE	Tmn	0.60	0.040
CE	Pr	0.68	0.014
CE	Vpv	-0.67	0.017
CE	Stv	0.59	0.042
CE	Ic	0.68	0.015
CE	Ithv	0.68	0.015
CE	Ithrv	0.68	0.016
Ca	Pr	0.61	0.035
Arena	H	-0.59	0.042
Arena	Rs	0.62	0.032
Arena	Es	0.63	0.027
Arena	Iruv	0.65	0.021
Arena	Druv	0.66	0.019
Arena	Mxruv	0.62	0.033
Limo	H	0.60	0.038
Limo	Rs	-0.64	0.023
Limo	Es	-0.66	0.020
Limo	Iruv	-0.68	0.015
Limo	Druv	-0.69	0.025
Limo	Mxruv	-0.64	0.025

Tp= Temperatura promedio; Tmx= Temperatura máxima; Tmn= Temperatura mínima; H= Humedad; Pr= Punto de rocío; Vpv= Velocidad promedio del viento; Stv= Sensación térmica del viento; Ic= Índice de calor; Ithv= Índice de temperatura, humedad, viento; Ithrv= Índice de temperatura humedad, radiación, solar, viento; Rs= Radiación solar; Es= Energía solar; Iruv= Índice de rayos ultravioleta; Druv= Dosis de rayos ultravioleta; Mxruv= Máxima de rayos ultravioleta; CE= Conductividad Eléctrica; Ca= Calcio.

7.1.2.3. Relación de variables climatológicas y variables minerales de especies de leguminosas

La tabla 6 muestra las variables climatológicas y minerales del suelo que presentaron correlación significativa en el sitio “El Comitán”. El contenido de sodio de las especies leguminosas mostró correlación negativa con el punto de rocío, índice de calor, índice de temperatura-humedad-viento, índice de temperatura-humedad-radiación solar-viento-precipitación, así como correlación positiva con la velocidad promedio del viento.

Tabla 5. Valores de correlación y significancia de variables climatológicas y variables químicas de especies leguminosas del sitio “El Comitán”.

Variab leguminosas	Variab climatológicas	Valor de correlación (<i>r</i>)	Probabilidad (<i>p</i>)
Humedad	Pr	0.58	0.049
Humedad	Vpv	-0.71	0.010
Cenizas	Pr	-0.73	0.007
Cenizas	Vpv	0.78	0.003
Cenizas	Pc	-0.74	0.006
Proteína	H	0.63	0.027
Proteína	Pr	0.66	0.019
Proteína	Vpv	-0.76	0.004
ELN	Vpv	0.59	0.046
ELN	Vmxv	0.68	0.014
ELN	E	0.63	0.028
Energía	H	0.82	0.001
Energía	Pr	0.60	0.041
Energía	Vpv	-0.80	0.002
Energía	E	-0.74	0.006
FDA	Rs	0.64	0.025
FDA	Es	0.65	0.023
Celulosa	H	-0.79	0.002
Celulosa	Vpv	0.62	0.032
Celulosa	Vmxv	0.72	0.008
Celulosa	Rs	0.76	0.004
Celulosa	Es	0.77	0.003
Celulosa	Rsmx	0.64	0.026
Celulosa	Iruv	0.59	0.045
Celulosa	Druv	0.59	0.043
Celulosa	E	0.67	0.017

H= Humedad; Pr=Punto de rocío; Vpv=Velocidad promedio del viento; Vmxv=Velocidad máxima del viento; Pc=Precipitación; Rs=Radiación solar; Es=Energía solar; Rsmx=Radiación solar máxima; Iruv= Índice de rayos ultravioleta; Druv=Dosis de rayos ultravioleta; E=Evapotranspiración; ELN=Extracto Libre de Nitrógeno; FDA=Fibra Detergente Ácida.

El magnesio de las especies leguminosas mostró correlación negativa con las variables temperatura promedio, temperatura máxima, temperatura mínima, sensación térmica del viento, índice de temperatura-humedad- radiación solar-viento, índice de rayos ultravioleta, dosis de rayos ultravioleta y máxima de rayos ultravioleta. El manganeso se correlacionó de manera negativa con el punto de rocío pero positiva con la velocidad promedio del viento. El hierro se correlacionó negativamente con la humedad y de manera positiva con las variables velocidad promedio de viento, velocidad máxima de viento y evapotranspiración.

Tabla 6. Valores de correlación y significancia de variables climatológicas y variables minerales de especies leguminosas del sitio “El Comitán”.

VARIABLES MINERALES	VARIABLES CLIMATOLÓGICAS	VALOR DE CORRELACIÓN (r)	PROBABILIDAD (p)
Na	Pr	-0.80	0.002
Na	Vpv	0.81	0.001
Na	Ic	-0.63	0.029
Na	Ithv	-0.630	0.029
Na	Ithrsv	-0.60	0.040
Na	Pc	-0.62	0.031
Mg	Tp	-0.58	0.047
Mg	Tmx	-0.59	0.043
Mg	Tmn	-0.58	0.050
Mg	Stv	-0.58	0.047
Mg	Ithrsv	-0.58	0.048
Mg	Iruv	-0.58	0.046
Mg	Druv	-0.59	0.043
Mg	Mxruv	-0.61	0.035
Mn	Pr	-0.67	0.016
Mn	Vpv	0.69	0.013
Fe	H	-0.72	0.009
Fe	Vpv	0.74	0.06
Fe	Vmxv	0.64	0.024
Fe	E	0.70	0.011

Tp= Temperatura promedio; Tmx= Temperatura máxima; Tmn= Temperatura mínima; H= Humedad; Pr= Punto de rocío; Vpv= Velocidad promedio del viento; Vmxv= Velocidad máxima del viento; Stv= Sensación térmica del viento; Ic= Índice de calor; Ithv= Índice de temperatura humedad, viento; Ithrsv= Índice de temperatura, humedad, radiación solar, viento; Pc= Precipitación; Iruv= Índice de rayos ultravioleta; Druv= Dosis de rayos ultravioleta; Mxruv= Máxima de rayos ultravioleta; E= Evapotranspiración; Na= Sodio; Mg= Magnesio; Mn= Manganeso; Fe= Hierro.

7.2. Relación de variables físico-químicas del suelo con la composición químico-mineral de las especies leguminosas en los sitios de estudio

7.2.1. Sitio “El Bajío”

7.2.1.1. Relación de variables físico-químicas del suelo y variables químicas de las especies leguminosas

La tabla 7 muestra las variables físico-químicas del suelo y químicas de las especies leguminosas que presentaron correlación significativa en el sitio “El Bajío”. El pH mostró correlación positiva con la hemicelulosa de las especies leguminosas. Por su parte, la conductividad eléctrica se correlacionó positivamente con lignina ácido detergente. El calcio y el fósforo se correlacionaron de manera positiva con la energía de las especies leguminosas. El contenido de arena del suelo se correlacionó negativamente con la lignina detergente ácida y con la proteína de las especies leguminosas, mientras que la relación fue positiva con la celulosa. El limo se correlacionó positivamente con la proteína y la lignina detergente ácida, pero mostró relación negativa con la celulosa. Por su parte, la arcilla se relacionó positivamente con el contenido de proteína de las especies leguminosas.

Tabla 7. Valores de correlación y significancia de variables físico-químicas del suelo y químicas de especies leguminosas del sitio “El Bajío”.

Variables del suelo	Variables químicas de leguminosas	Valor de correlación (<i>r</i>)	Probabilidad (<i>p</i>)
pH	Hemicelulosa	0.58	0.046
CE	LDA	0.58	0.049
Ca	Energía	0.69	0.012
P	Energía	0.59	0.045
Arena	Proteína	-0.78	0.003
Arena	LDA	-0.59	0.044
Arena	Celulosa	0.61	0.037
Limo	Proteína	0.78	0.003
Limo	LDA	0.59	0.044
Limo	Celulosa	-0.61	0.035
Arcilla	Proteína	0.83	0.001

LDA= Lignina Ácido Detergente; CE= Conductividad Eléctrica Ca= Calcio; P= Fosforo.

7.2.1.2. Relación de variables físico-químicas del suelo y variables minerales de las especies leguminosas

La tabla 8 muestra las variables físico-químicas del suelo y minerales de especies leguminosas que presentaron correlación significativa en el sitio “El Bajío”. El contenido de arena del suelo mostró correlación negativa con el contenido de cobre de las especies leguminosas, mientras que la correlación entre la arena y el hierro fue positiva. El contenido de limo y arcilla mostraron lo contrario a la arena, es decir, se correlacionaron positivamente con el cobre y de manera negativa con el hierro.

Tabla 8. Valores de correlación y significancia de variables físico-químicas del suelo y variables minerales de especies leguminosas del sitio “El Bajío”.

Variables del suelo	Variables minerales		
	de especies leguminosas	Valor de correlación (<i>r</i>)	Probabilidad (<i>p</i>)
Arena	Cu	-0.64	0.024
Arena	Fe	0.71	0.009
Limo	Cu	0.63	0.028
Limo	Fe	-0.71	0.010
Arcilla	Cu	0.89	0.000
Arcilla	Fe	-0.73	0.007

Cu=Cobre. Fe=Hierro.

7.2.2. Sitio “El Comitán”

7.2.2.1. Relación de variables físico-químicas del suelo y variables químicas de las especies leguminosas

La tabla 9 muestra las variables físico-químicas del suelo y químicas de especies leguminosas que presentaron correlación significativa en el sitio “El Comitán”. Sólo dos variables mostraron relación significativa pero negativa, siendo éstas el contenido de limo del suelo y el contenido de celulosa de las especies leguminosas.

Tabla 9. Valores de correlación y significancia de variables físico-químicas del suelo y químicas de especies leguminosas del sitio “El Comitán”.

Variables químicas del suelo	Variables químicas de las especies leguminosas	Valor de correlación (r)	Probabilidad (p)
Limo	Celulosa	-0.58	0.049

7.2.2.2. Relación de variables físico-químicas del suelo y variables minerales de las especies leguminosas

La tabla 10 muestra las variables físico-químicas del suelo y variables minerales de especies leguminosas que presentaron correlación significativa en el sitio “El Comitán”. El contenido de calcio del suelo, mostró relación positiva con el contenido de cobre de las especies leguminosas, siendo esta positiva. Por su parte, el contenido de materia orgánica del suelo se relacionó negativamente con el contenido de níquel de las especies leguminosas.

Tabla 10. Valores de correlación y significancia de variables físico-químicas del suelo y variables minerales de las especies leguminosas del sitio “El Comitán”.

Variables del suelo	Variables minerales de especies leguminosas		Probabilidad (p)
		Valor de correlación (r)	
Ca	Cu	0.69	0.014
MO	Ni	-0.61	0.035

Ca= Calcio; MO= Materia Orgánica; Cu= Cobre; Ni= Níquel.

7.3. Variabilidad de las características químico-minerales de las especies leguminosas y físico-químicas del suelo en los sitios de estudio

7.3.1. Sitio “El Bajío”

7.3.1.1. Fibra detergente ácida, lignina detergente ácida, celulosa y hemicelulosa de especies leguminosas

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre estación, especie, ni entre la interacción de los factores estación×especie para las variables fibra detergente neutra, fibra detergente ácida, lignina detergente ácida, celulosa y hemicelulosa (Tabla 11).

Tabla 11. Análisis de varianza (cuadrados medios) de características químicas de las especies leguminosas del sitio “El Bajío”.

FV	gl	FDN	FDA	LDA	Celulosa	Hemicelulosa
Estación	3	409.13ns	612.37ns	485.18ns	764.99ns	419.25ns
Especie	4	159.42ns	129.31ns	352.47ns	294.23ns	686.48ns
Estaciones × especies	12	237.31ns	294.46ns	300.10ns	337.44ns	272.61ns
Error	40	270.80	346.79	448.47	399.56	405.24

FV=fuentes de variación. gl=grados de libertad. ns=no significativo estadísticamente. FDN=Fibra Detergente Neutro. FDA=Fibra Detergente Ácida. LDA=Lignina Detergente Ácida.

7.3.1.2. Variables químicas (proximal) de especies leguminosas

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre estaciones para ninguna de las variables químicas (proximal) de las especies en estudio. Asimismo, no se observaron diferencias significativas en la interacción de estación×especie en ninguna de las variables químicas. Sin embargo, el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre especies para las variables humedad, proteínas, extracto libre de nitrógeno y energía (Tabla 12). Para las variables humedad, proteínas y extracto libre de nitrógeno, *Parkinsonia praecox* mostró los valores mayores, mientras que *Lysiloma candida* mostró los valores menores de humedad y proteínas. *Prosopis articulata* y *Parkinsonia floridum* mostraron valores menores del extracto libre de nitrógeno. Las especies que mostraron valores mayores de energía fueron *Lysiloma candida* y *Prosopis articulata*, mientras que *Parkinsonia praecox* mostró lo contrario (Tabla 13).

Tabla 12. Análisis de varianza (cuadrados medios) para variables químicas (proximal) del sitio “El Bajío”.

FV	gl	Humedad	Cenizas	Proteínas	Lípidos	Fibra cruda	ELN	Energía
Estación	3	11.2ns	177.66ns	88.57ns	183.72ns	327.51ns	99.4ns	4.86E+05ns
Especie	4	378.2**	678.57ns	640.36*	685.65ns	307.24ns	360.8**	2.79E+06**
Estación × especie	12	118.5ns	153.28ns	176.81ns	203.47ns	226.25ns	51.2ns	3.22E+05ns
Error	40	89.2	298.64	217.61	323.13	253.86	78.0	5.57E+05

FV=fuentes de variación. gl=grados de libertad. ns=no significativo estadísticamente. *=significancia estadística a una $p \leq 0.05$. **=significancia estadística a una $p \leq 0.001$. ELN=Extracto Libre de Nitrógeno.

Tabla 13. Promedio de variables químicas (proximal) de las especies leguminosas del sitio “El Bajío”.

Especie	Humedad (%)	Proteínas (%)	ELN (%)	Energía bruta (Cal g ⁻¹)
<i>Olneya tesota</i>	61.09 ab	17.79 ab	53.96 ab	4234.38 ab
<i>Lysiloma candida</i>	52.46 b	16.27 b	57.51 ab	4529.89 a
<i>Prosopis articulata</i>	57.23 ab	20.85 ab	48.09 b	4708.92 a
<i>Parkinsonia praecox</i>	67.78 a	34.66 a	62.59 a	3449.04 b
<i>Parkinsonia floridum</i>	58.97 ab	20.80 ab	52.25 b	4194.87 ab

Medias en columna con letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD $p=0.05$). ELN=Extracto Libre de Nitrógeno.

7.3.1.3. Contenido mineral de especies leguminosas

El análisis de varianza solo mostró diferencias significativas entre estaciones para las variables magnesio y hierro. Por su parte, la fuente de variación especies sólo mostró diferencias significativas para potasio, magnesio y manganeso. La interacción de los factores estación×especie no mostró diferencias significativas para ninguno de los minerales evaluados en las especies leguminosas del sitio “El Bajío” (Tabla 14). El análisis de los promedios de los minerales que mostraron diferencias significativas entre estaciones muestra que el mayor contenido de magnesio se presentó durante la estación de invierno, mientras que el valor menor se presentó en la estación de primavera (Tabla 15). Para el caso de las especies, los minerales que mostraron diferencias significativas entre éstas, muestra que *Olneya tesota* y *Parkinsonia floridum*, presentaron los valores mayores en el contenido de potasio mientras que *Lysiloma candida* y *Parkinsonia praecox* exhibieron los valores menores de este mineral. La especie *Parkinsonia floridum* mostró el valor mayor en el contenido de magnesio, mientras que *Olneya tesota* presentó el valor menor. El contenido de manganeso fue mayor para *Parkinsonia praecox*, mientras que el resto de las variables mostraron similitud estadística con valores inferiores a esta especie en este mineral (Tabla 16).

7.3.1.4. Variables físico-químicas del suelo

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas entre estaciones del año para las variables pH, magnesio, fósforo, arena, limo y arcilla. Por su parte, la fuente de variación especies, presentó diferencias significativas para las variables conductividad eléctrica,

materia orgánica, fósforo, arena, limo y arcilla, mientras que la interacción de los factores estación×especie expuso diferencias significativas para las variables conductividad eléctrica, fósforo y arcilla (Tabla 17). El análisis de los promedios de las características físico-químicas considerando las estaciones del año, mostró que en las estaciones de otoño e invierno, los valores del pH se incrementaron con respecto a las otras estaciones del año, encontrando el valor menor del pH en la estación de verano. Los contenidos de magnesio y fósforo fueron mayores en el otoño y menores en las estaciones de primavera e invierno. En primavera, se exhibieron los valores mayores de arena, con valores inferiores en las estaciones de otoño e invierno, resultado contrario al contenido de limo, ya que estas dos últimas estaciones, presentaron los valores mayores de limo, mientras que en primavera, este valor se redujo. En otoño, los valores de arcilla se incrementaron con respecto al resto de las estaciones del año, cuyos valores disminuyeron en las estaciones de primavera e invierno (Tabla 18). Al considerar las variables físico-químicas del suelo con relación a las especies leguminosas, se encontró que el sitio de muestreo donde se ubicó *Olneya tesota* mostró los valores mayores de conductividad eléctrica, materia orgánica y contenido de fósforo, mientras que el resto de las variables presentaron valores inferiores en estas variables. El sitio de muestreo donde se ubicó a *Prosopis articulata*, mostró el mayor contenido de arena, mientras que el sitio de muestreo de *Parkinsonia praecox* presentó el valor menor. Sin embargo, esta última especie exhibió valores superiores tanto para limo como para arcilla, en tanto que el sitio de muestreo donde se localizó a la especie *Prosopis articulata*, mostró los valores menores en estas dos últimas variables (Tabla 19).

El análisis de la interacción de los factores estación×especie, mostró que el suelo del sitio donde se colectó la especie *Olneya tesota* tanto en la estación de verano como en otoño, presentó los valores mayores de conductividad eléctrica, mientras que el suelo del sitio donde se colectó la especie *Prosopis articulata* en las estaciones de primavera e invierno, presentó los valores menores para esta variable. Para el contenido de fósforo en el suelo, el valor mayor lo presentó el sitio de muestreo donde se colectó la especie *Olneya tesota* en la estación de otoño, mientras que el valor inferior se presentó en el sitio de muestreo donde se ubicaba la especie *Parkinsonia praecox* en la estación de invierno. Sin embargo, esta misma especie, exhibió el valor mayor en el contenido de arcilla del suelo cuya colecta se

realizó en la estación de otoño. El resto de especies, presentaron valores inferiores en las diferentes estaciones del año (Tabla 20).

Tabla 14. Análisis de varianza (cuadrados medios) del contenido mineral de especies leguminosas del sitio “El Bajío”.

FV	gl	Na	K	Ca	Mg	Mn	Cu	Ni	Zn	Fe
Estación	3	3965850ns	4.41E+07ns	1.48E+08ns	1.28E+07**	241.50ns	187.44ns	4312.17ns	1649.92ns	7409.5**
Especie	4	5248650ns	1.56E+09**	1.63E+08ns	2.71E+07**	2080.22**	597.50ns	1350.72ns	1449.32ns	3835.3ns
Estación × especie	12	3615183ns	8.57E+07ns	1.37E+08ns	3.36E+06ns	111.80ns	202.02ns	1519.09ns	637.28ns	1469.5ns
Error	40	3694857	4.83E+08	7.06E+07	2.09E+06	243.92	305.90	1926.66	828.07	1716.1

FV=fuentes de variación. gl=grados de libertad. ns=no significativo estadísticamente. Na=Sodio. K=Potasio. Ca=Calcio. Mg=Magnesio. Mn=Manganeso. Cu=Cobre. Ni=Níquel. Zn=Zinc. Fe=Hierro. **= significancia estadística a una $p \leq 0.001$.

Tabla 15. Promedio del contenido de magnesio y hierro de especies leguminosas del sitio “El Bajío” considerando las estaciones del año.

Estación	Mg (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)
Primavera	3338.02 b	117.35 a
Verano	4556.88 ab	100.63 ab
Otoño	4311.57 ab	67.39 b
Invierno	5590.22 a	110.98 a

Medias en columna con letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD $p = 0.05$).

Tabla 16. Promedio del contenido de potasio, magnesio y manganeso de especies leguminosas del sitio “El Bajío”.

Especie	K (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)
<i>Olneya tesota</i>	20319.25 a	2612.62 c	26.61 b
<i>Lysiloma candida</i>	7818.07 c	4140.73 bc	25.07 b
<i>Prosopis articulata</i>	12601.43 b	3881.31 bc	30.23 b
<i>Parkinsonia praecox</i>	7806.95 c	4916.61 b	57.36 a
<i>Parkinsonia floridum</i>	17798.13 a	6694.60 a	36.36 b

Medias en columna con letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD $p = 0.05$).

Tabla 17. Análisis de varianza (cuadrados medios) de variables físico-químicas del suelo del sitio “El Bajío”.

FV	gl	pH	CE	MO	Ca	Mg	P	Arena	Limo	Arcilla
Estación	3	0.148**	7977ns	0.04ns	1711.7ns	838.49**	25.36**	80.5**	75.11**	0.099**
Especie	4	0.004ns	17891**	0.64**	389.3ns	135.25ns	47.36**	40.0*	38.18*	0.049*
Estación × especie	12	0.007ns	6702*	0.06ns	1298.8ns	263.38ns	19.80**	24.8ns	23.36ns	0.051**
Error	40	0.033	2909	0.05	791.9	164.85	6.06	12.7	12.01	0.018

FV= fuentes de variación. gl= grados de libertad. ns=no significativo estadísticamente. CE= conductividad eléctrica. MO= materia orgánica. Ca= Calcio. Mg= Magnesio. P= fosforo *= significancia estadística a una $p \leq 0.05$. **= significancia estadística a una $p \leq 0.001$.

Tabla 18. Promedio de variables físico-químicas del suelo del sitio “El Bajío” considerando las estaciones del año.

Estación	pH	Mg (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Primavera	7.57 ab	24.58 b	2.56 b	94.38 a	5.59 b	0.028 b
Verano	7.48 b	29.44 ab	4.71 ab	92.16 ab	7.72 ab	0.097 ab
Otoño	7.69 a	42.00 a	5.54 a	88.91 b	10.85 a	0.221 a
Invierno	7.68 a	29.17 b	3.60 ab	90.69 b	9.20 a	0.084 b

Medias en columna con letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD $p = 0.05$). Mg=Magnesio. P=fosforo.

Tabla 19. Promedio de variables físico-químicas del suelo del sitio “El Bajío” considerando las especies leguminosas.

Especie	CE (dS m ⁻¹)	MO (%)	P (mg kg ⁻¹)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
<i>Olnya tesota</i>	0.235 a	0.86 a	7.14 a	89.85 ab	10.07 ab	0.066 ab
<i>Lysiloma candida</i>	0.176 ab	0.43 b	5.03 ab	92.64 ab	7.27 bc	0.085 ab
<i>Prosopis articulata</i>	0.142 b	0.28 b	2.72 b	93.53 a	6.40 c	0.057 b
<i>Parkinsonia praecox</i>	0.140 b	0.39 b	2.34 b	89.36 b	10.40 a	0.216 a
<i>Parkinsonia floridum</i>	0.168 b	0.35 b	3.29 b	92.31 ab	7.56 abc	0.115 ab

CE=conductividad eléctrica; MO=materia orgánica. P=fosforo. Medias en columna con letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD $p = 0.05$).

Tabla 20. Promedio de variables físico-químicas del suelo del sitio “El Bajío” considerando la interacción de los factores estación×especie.

Estación	Especie	CE (dS m ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Arcilla (%)
Primavera	<i>Olneya tesota</i>	0.164 ab	3.37 bc	0.022 b
Primavera	<i>Lysiloma candida</i>	0.214 ab	2.95 bc	0.022 b
Primavera	<i>Prosopis articulata</i>	0.105 b	2.06 c	0.011 b
Primavera	<i>Parkinsonia praecox</i>	0.124 ab	2.13 c	0.022 b
Primavera	<i>Parkinsonia floridum</i>	0.148 ab	2.28 bc	0.066 b
Verano	<i>Olneya tesota</i>	0.284 a	6.74 abc	0.044 b
Verano	<i>Lysiloma candida</i>	0.227 ab	9.90 ab	0.011 b
Verano	<i>Prosopis articulata</i>	0.141 ab	2.11 c	0.011 b
Verano	<i>Parkinsonia praecox</i>	0.159 ab	2.76 bc	0.088 b
Verano	<i>Parkinsonia floridum</i>	0.168 ab	2.06 c	0.233 ab
Otoño	<i>Olneya tesota</i>	0.283 a	12.97 a	0.045 b
Otoño	<i>Lysiloma candida</i>	0.092 b	1.83 c	0.230 ab
Otoño	<i>Prosopis articulata</i>	0.217 ab	4.23 bc	0.062 b
Otoño	<i>Parkinsonia praecox</i>	0.130 ab	2.46 bc	0.631 a
Otoño	<i>Parkinsonia floridum</i>	0.220 ab	6.22 abc	0.140 b
Invierno	<i>Olneya tesota</i>	0.211 ab	5.48 abc	0.155 b
Invierno	<i>Lysiloma candida</i>	0.172 ab	5.45 abc	0.077 b
Invierno	<i>Prosopis articulata</i>	0.105 b	2.48 bc	0.044 b
Invierno	<i>Parkinsonia praecox</i>	0.148 ab	2.00 c	0.122 b
Invierno	<i>Parkinsonia floridum</i>	0.134 ab	2.61 bc	0.022 b

Medias en columna con letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD $p=0.05$). CE=conductividad eléctrica. P=fosforo.

7.3.2. Sitio “El Comitán”

7.3.2.1. Fibra detergente ácida, lignina detergente ácida, celulosa y hemicelulosa de especies leguminosas

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre estación, especie, ni entre la interacción de los factores estación×especie para las variables fibra detergente ácida, lignina detergente ácida, celulosa y hemicelulosa (Tabla 21).

Tabla 21. Análisis de varianza (cuadrados medios) de variables químicas de especies leguminosas del sitio “El Comitán”.

FV	gl	FDN	FDA	LDA	Celulosa	Hemicelulosa
Estación	3	475.32ns	590.52ns	596.38ns	683.74ns	557.30ns
Especie	4	129.14ns	29.89ns	79.66ns	113.24ns	264.34ns
Estación × especie	12	181.29ns	230.34ns	221.06ns	258.27ns	190.12ns
Error	40	229.18	253.58	306.19	281.96	296.67

FV=fuentes de variación. gl=grados de libertad. ns=no significativo estadísticamente. FDN=Fibra Detergente Neutro. FDA=Fibra Detergente Ácida. LDA=Lignina Detergente Ácida.

7.3.2.2. Variables químicas (proximal) de especies leguminosas

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre estaciones ni entre la interacción de estación×especie, mostrando solo diferencias significativas la fuente de variación especie para las variables humedad, proteínas, extracto libre de nitrógeno y energía (Tabla 22). La especie *Parkinsonia praecox* mostró los valores más altos de humedad y proteínas, mientras que para la variable extracto libre de nitrógeno, tanto *Parkinsonia praecox* como *Lysiloma candida* mostraron los valores mayores. La especie *Lysiloma candida* mostró los valores menores en las variables humedad y proteínas; por su parte, *Prosopis articulata* mostró los valores menores de extracto libre de nitrógeno, al igual que *Parkinsonia praecox* en la variable energía (Tabla 23).

Tabla 22. Análisis de varianza (cuadrados medios) para variables químicas (proximal) del sitio “El Comitán”.

FV	gl	Humedad	Cenizas	Proteínas	Lípidos	Fibra		
						cruda	ELN	Energía
Estación	3	143.7ns	225.70ns	178.22ns	192.04ns	180.98ns	58.8ns	6.95E+05ns
Especie	4	671.7**	574.11ns	868.30**	652.34ns	360.07ns	381.9*	2.29E+06*
Estación × especie	12	99.3ns	142.69ns	180.92ns	215.60ns	234.03ns	49.1ns	2.14E+05ns
Error	40	68.4	299.26	203.83	320.67	268.60	85.3	5.89E+05

FV=fuentes de variación. gl=grados de libertad. ns=no significativo estadísticamente. *= significancia estadística a una $p \leq 0.05$. ** =significancia estadística a una $p \leq 0.001$. ELN= Extracto Libre de Nitrógeno.

Tabla 23. Promedio de variables proximales de las especies leguminosas del sitio “El Comitán”.

Especie	Humedad (%)	Proteínas (%)	ELN (%)	Energía bruta (Cal g ⁻¹)
<i>Olneya tesota</i>	59.92 b	16.55 b	53.13 ab	4154.86 ab
<i>Lysiloma candida</i>	50.24 c	14.37 b	62.42 a	4456.35 a
<i>Prosopis articulata</i>	50.47 bc	18.89 b	49.74 b	4525.26 a
<i>Parkinsonia praecox</i>	67.62 a	35.80 a	62.07 a	3430.03 b
<i>Parkinsonia floridum</i>	61.29 a	19.48 ab	54.41 ab	4022.29 ab

Medias en columna con letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD $p = 0.05$). ELN= Extracto Libre de Nitrógeno.

7.3.2.3. Contenido mineral de especies leguminosas

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre estación para las variables sodio, magnesio y hierro. Por su parte, la fuente de variación especie mostró diferencias significativas para sodio, potasio, magnesio, manganeso, zinc y hierro. Además, la

interacción de los factores estación×especie mostró diferencias significativas para sodio, magnesio y zinc (Tabla 24). El análisis de los promedios de los minerales que mostraron diferencias significativas entre estaciones, muestra que en invierno se presentó el mayor contenido de sodio y magnesio, mientras que en primavera, el mineral con mayor contenido fue hierro. El sodio fue menor en verano y otoño; el magnesio fue menor en primavera y verano, mientras que el hierro fue menor en otoño (Tabla 25). El análisis de los promedios de las especies leguminosas mostró que *Parkinsonia floridum* presentó los valores mayores en el contenido de sodio y magnesio. *Olneya tesota* mostró mayor contenido de potasio respecto a las otras especies. *Prosopis articulata* presentó valores superiores de manganeso y hierro, mientras que *Parkinsonia praecox* mostró el mayor contenido de zinc. Los valores menores de sodio y potasio se observaron en *Olneya tesota*. *Lysiloma candida* mostró valores inferiores de potasio, manganeso, zinc y hierro, mientras *Prosopis articulata* mostró valor menor de magnesio (Tabla 26).

El análisis de los promedios de los minerales que presentaron diferencias significativas en la interacción de los factores mostró que en el sitio de colecta de *Parkinsonia praecox* en la estación de invierno, se presentó el valor mayor de sodio, mientras que en el sitio de colecta donde se ubicó a *Lysiloma candida* en la estación de otoño, el sodio fue menor. Los valores mayores para magnesio, se presentaron en el sitio de colecta donde se ubicó a *Parkinsonia floridum* en la estación de otoño, con valor menor la especie *Olneya tesota* en la estación de primavera. El zinc fue mayor en el sitio donde se ubicó la especie *Parkinsonia praecox* en la estación de primavera, mientras que en el muestreo de la estación de otoño y específicamente en la especie *Olneya tesota*, el zinc fue menor (Tabla 27).

Tabla 24. Análisis de varianza (cuadrados medios) del contenido mineral de especies leguminosas del sitio “El Comitán”.

FV	gl	Na	K	Ca	Mg	Mn	Cu	Ni	Zn	Fe
Estación	3	240116*	2.18E+07ns	2.08E+07ns	8.14E+06*	455.0ns	179.47ns	412.78ns	246.16ns	5324.2*
Especie	4	301722**	5.05E+08**	1.44E+08ns	1.10E+08**	5257.7**	194.43ns	184.69ns	503.49*	7006.6*
Estación × especie	12	129560*	1.80E+07ns	2.39E+08ns	7.01E+06**	412.3ns	200.42ns	884.71ns	286.05*	1831.1ns
Error	40	45998	1.02E+07	1.29E+08	2.00E+06	360.6	190.92	828.71	140.69	1842.4

FV=fuentes de variación. gl=grados de libertad. ns=no significativo estadísticamente. Na=Sodio. K=Potasio. Ca=Calcio. Mg=Magnesio. Mn=Manganeso. Cu=Cobre. Ni=Níquel. Zn=Zinc. Fe=Hierro. *=significancia estadística a una $p \leq 0.05$. **=significancia estadística a una $p \leq 0.001$.

Tabla 25. Promedio del contenido mineral de especies de leguminosas del sitio “El Comitán” considerando las estaciones del año.

Estación	Na (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)
Primavera	670.77 ab	4696.01 b	125.88 a
Verano	508.56 b	4794.66 b	113.98 ab
Otoño	471.18 b	5661.87 ab	81.83 b
Invierno	734.59 a	6241.75 a	101.33 ab

Medias en columna con letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD $p=0.05$). K=Potasio. Mg=Magnesio. Fe=Hierro.

Tabla 26. Promedio del contenido mineral de especies leguminosas del sitio “El Comitán”.

Especie	Na (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)
<i>Olneya tesota</i>	397.57 c	22526.69 a	2351.93 c	53.07 b	14.22 ab	90.02 b
<i>Lysiloma candida</i>	517.37 bc	6900.55 c	3989.27 c	21.61 c	10.50 b	81.84 b
<i>Prosopis articulata</i>	553.19 abc	17144.68 b	3896.93 c	76.09 a	12.44 ab	142.14 a
<i>Parkinsonia praecox</i>	728.47 ab	8197.79 c	6396.39 b	44.41 b	25.79 a	97.71 ab
<i>Parkinsonia floridum</i>	784.78 a	15323.76 b	10108.35 a	65.80 ab	21.47 ab	117.06 ab

Medias en columna con letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD $p=0.05$). Na=Sodio. K=Potasio. Mg=Magnesio. Mn=Manganeso. Zn=Zinc. Fe=Hierro.

Tabla 27. Promedio del contenido mineral de especies leguminosas del sitio “El Comitán”, considerando la interacción de los factores estación×especie.

Estación	Especie	Na (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
Primavera	<i>Olneya tesota</i>	494.83 bc	2063.30 f	16.29 b
Primavera	<i>Lysiloma candida</i>	756.01 abc	4299.84 def	9.44 b
Primavera	<i>Prosopis articulata</i>	621.28 bc	4057.70 ef	9.95 b
Primavera	<i>Parkinsonia praecox</i>	467.04 bc	2682.37 ef	56.21 a
Primavera	<i>Parkinsonia floridum</i>	1014.70 ab	10376.84 ab	20.08 ab
Verano	<i>Olneya tesota</i>	321.64 c	2592.87 ef	20.27 ab
Verano	<i>Lysiloma candida</i>	517.14 bc	3123.71 ef	12.19 b
Verano	<i>Prosopis articulata</i>	530.16 bc	3807.10 ef	17.82 b
Verano	<i>Parkinsonia praecox</i>	497.49 bc	5807.96 cdef	17.63 b
Verano	<i>Parkinsonia floridum</i>	676.36 bc	8641.67 abcd	19.13 b
Otoño	<i>Olneya tesota</i>	314.09 c	2476.30 ef	8.26 b
Otoño	<i>Lysiloma candida</i>	302.38 c	3964.00 ef	10.43 b
Otoño	<i>Prosopis articulata</i>	536.06 bc	3708.91 ef	12.22 b
Otoño	<i>Parkinsonia praecox</i>	602.44 bc	6655.55 bcde	14.88 b
Otoño	<i>Parkinsonia floridum</i>	600.94 bc	11504.61 a	21.31 ab
Invierno	<i>Olneya tesota</i>	459.72 bc	2275.25 ef	12.08 b
Invierno	<i>Lysiloma candida</i>	493.97 bc	4569.53 def	9.94 b
Invierno	<i>Prosopis articulata</i>	525.24 bc	4014.02 ef	9.77 b
Invierno	<i>Parkinsonia praecox</i>	1346.90 a	10439.67 ab	14.42 b
Invierno	<i>Parkinsonia floridum</i>	847.12 abc	9910.29 abc	25.35 ab

Medias en columna con letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD $p=0.05$). Na=Sodio. Mg=Magnesio. Zn=Zinc.

7.3.2.4. Variables físico-químicas del suelo

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre estación para las variables pH, conductividad eléctrica, calcio, potasio, arena y limo. Por su parte, la fuente de variación especie mostró diferencias significativas para pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, calcio, fósforo, arena, limo y arcilla. Ninguna de las variables físico-químicas del suelo mostró diferencias significativas en la interacción de los factores estación×especie (Tabla 28). El análisis de los promedios de las variables físico-químicas que mostraron diferencias significativas en la fuente de variación estación del año, muestra que en otoño se presentaron valores mayores del pH, calcio y limo. En verano, la conductividad eléctrica y el contenido de arena presentaron los valores menores. Los valores inferiores de pH se presentaron en la estación de verano. La conductividad eléctrica y el contenido de calcio del suelo fue menor en la estación de invierno. El contenido de

arena del suelo fue menor en la estación de otoño, mientras que el contenido de limo fue menor durante el verano (Tabla 29).

El análisis de los promedios de las variables físico-químicas del suelo en los sitios donde se ubicaron las especies de leguminosas, muestran que el pH fue mayor en donde se ubicaron las especies *Olneya tesota* y *Lysiloma candida*, siendo menor en el sitio de ubicación de *Prosopis articulata*. La conductividad eléctrica fue mayor en el suelo donde se ubicó a *Parkinsonia floridum*, mientras que la materia orgánica y el calcio mostraron valores superiores en los sitios donde se ubicaron las especies *Olneya tesota*, *Lysiloma candida* y *Parkinsonia floridum*. El sitio donde se ubicó a *Parkinsonia praecox*, mostró los valores menores de materia orgánica y calcio. El contenido de fósforo fue mayor en el sitio donde se localizó la especie *Prosopis articulata*, mientras que el sitio de ubicación de *Parkinsonia floridum* mostró el valor menor en este mineral. El contenido de arena fue mayor en el suelo en el sitio de ubicación de las especies *Olneya tesota* y *Lysiloma candida*, con valor menor el sitio de colecta de *Parkinsonia praecox*. El contenido de limo del suelo fue mayor en el sitio donde se ubicaba la especie *Parkinsonia praecox* y el contenido menor fue en el sitio de localización de *Lysiloma candida*. En el sitio de colecta de la especie *Prosopis articulata* el contenido de arcilla fue mayor, mientras que el valor menor fue en el sitio donde se ubicó a *Lysiloma candida* (Tabla 30).

Tabla 28. Análisis de varianza (cuadrados medios) de variables físico-químicas del suelo del sitio “El Comitán”.

FV	gl	pH	CE	MO	Ca	Mg	P	Arena	Limo	Arcilla
Estación	3	0.267**	11452*	0.005	2750.7*	789.64	25.08	558.4*	511.04*	2.51
Especie	4	0.222*	29964**	0.787**	16404.1**	169.48	112.14*	1152.2**	1120.10**	6.19*
Estación × especie	12	0.059ns	4091ns	0.081ns	744.8ns	224.63ns	20.33ns	272.2ns	253.43ns	0.70ns
Error	40	0.045	2521	0.052	478.5	288.56	25.90	159.7	138.29	1.70

FV= fuentes de variación. gl= grados de libertad. ns=no significativo estadísticamente. CE=conductividad eléctrica. MO=materia orgánica. Ca=Calcio. Mg=Magnesio. P=fosforo. *=significancia estadística a una $p \leq 0.05$. **=significancia estadística a una $p \leq 0.001$.

Tabla 29. Promedio de variables físico-químicas del suelo del sitio “El Comitán” considerando las estaciones del año.

Estación	pH	CE (dS m ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Arena (%)	Limo (%)
Primavera	7.36 ab	0.198 b	91.29 bc	76.22 ab	22.60 ab
Verano	7.19 b	0.248 a	106.88 ab	81.39 a	17.51 b
Otoño	7.52 a	0.198 b	113.44 a	66.82 b	31.43 a
Invierno	7.37 ab	0.185 b	84.16 c	73.00 ab	25.86 ab

Medias en columna con letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD $p=0.05$). CE=conductividad eléctrica. Ca=Calcio.

Tabla 30. Promedio de variables físico-químicas del suelo del sitio “El Comitán” considerando las especies leguminosas.

Especie	pH	CE (dS m ⁻¹)	MO (%)	Ca (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
<i>Olneya tesota</i>	7.51 a	0.194 bc	0.83 a	121.36 a	4.80 b	82.75 a	15.53 b	1.30 ab
<i>Lysiloma candida</i>	7.50 a	0.199 b	0.98 a	119.95 a	6.85 ab	86.42 a	13.27 b	0.29 b
<i>Prosopis articulata</i>	7.21 b	0.229 ab	0.51 b	62.62 b	10.97 a	71.93 ab	25.78 ab	2.25 a
<i>Parkinsonia praecox</i>	7.27 ab	0.139 c	0.38 b	55.52 b	10.50 ab	65.15 b	33.58 a	1.26 ab
<i>Parkinsonia floridum</i>	7.32 ab	0.275 a	0.87 a	135.26 a	4.56 b	65.56 b	33.60	0.83 b

CE= conductividad eléctrica. MO=materia orgánica. Ca=Calcio. P=fosforo. Medias en columna con letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD $p=0.05$).

8. DISCUSIÓN

Estacionalidad de variables climatológicas y su relación con la composición físico-química del suelo y químico-mineral de las especies leguminosas

Los resultados en ambos sitios de estudio, mostraron que algunas variables climatológicas se correlacionaron de manera significativa, tanto positiva como negativa con las variables químicas del suelo, variables químicas de especies de leguminosas y variables minerales de especies leguminosas. Sin embargo, la simple observación de que dos variables parecen estar correlacionadas no revela gran cosa. Es necesario tener respuestas a dos importantes preguntas ¿qué tan estrechamente relacionadas se encuentran las variables? y ¿es real la relación o podría haber ocurrido por un accidente debido a la casualidad? (Little y Hills, 1989). En este sentido, los resultados de este estudio, coinciden con los reportados en otras investigaciones donde se menciona que en el agostadero árido y semiárido, las características físico-químicas del suelo (minerales, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, entre otros) y las variables climáticas (temperatura, humedad relativa, velocidad de viento y precipitaciones) se interrelacionan para determinar la presencia, nutrición y crecimiento de plantas del ecosistema (Fernandez-Illescas y Rodríguez-Iturbe, 2004; Snyder y Tartowski, 2006; Debra *et al.*, 2009). Directamente, estos factores establecen el tipo y la composición química de la vegetación y a su vez influyen los nutrientes disponibles de la dieta seleccionada por los animales domésticos en pastoreo (Skarpe *et al.*, 2007; Yayneshet *et al.*, 2008). En términos reales, muchas de las variables climatológicas que se relacionaron de manera significativa, ya sea positiva o negativamente con las variables del suelo, en el contexto real del problema, no tienen una explicación química, biológica o física; sin embargo, algunas como el contenido de arena y la velocidad del viento en el sitio “El Bajío”, es factible de explicarse en los términos de que a mayor velocidad del viento, existe un mayor arrastre de arena, la cual se deposita alrededor de las plantas que se muestrearon en el estudio. Observando que los vientos dominantes en esta área de estudio provienen principalmente de la costa, que es donde mayormente se acumula arena, además de sumarse la arena arrastrada de los arroyos cercanos al sitio, por lo tanto, el contenido de arena circundante en las especies en estudio, se incrementa

significativamente conforme se incrementa la velocidad del viento. Sin embargo, el contenido de limo y arcilla mostraron correlación negativa con la velocidad máxima del viento, indicando que conforme la velocidad del viento se incrementa, el contenido de arcilla y limo del suelo, disminuye, siendo este un fenómeno natural, dado que las arcillas y los limos son las partículas más pequeñas del suelo y estas pueden ser suspendidas de la superficie por la acción del viento. Por otro lado, en el sitio “El Comitán”, a pesar de estar más cercano a la costa y más expuesto al efecto de los vientos dominantes, las variables contenido de arena, limo y arcilla, no se correlacionaron significativamente con la velocidad máxima del viento. Por lo anterior, en el contexto verdadero del problema, los contenidos tanto de arena, limo y arcilla circundantes en los sitios de crecimiento de las especies en estudio, es probable que se asocien mayormente a la génesis de la geología de los sitios de estudio, a su material parental o son producto del arrastre por efecto del agua de lluvia y no son propiamente producto del arrastre por el viento. En cuanto a la relación entre el pH y la evapotranspiración, los resultados mostraron que al incrementar la evapotranspiración, el pH tiende a disminuir, mostrando valores más ácidos; sin embargo, estos resultados difieren de lo que comúnmente sucede, ya que cuando la lluvia que cae durante gran parte del año sobre el suelo, es mayor que la evapotranspiración, se produce el fenómeno de la lixiviación y emergen del perfil los iones más solubles como calcio, magnesio, sodio y potasio que no causan hidrólisis ácida, permaneciendo en el suelo los iones que le confieren acidez, por la hidrólisis de estos, los cuales son básicamente cationes metálicos como aluminio, hierro y manganeso, siendo esto la causa por lo que a mayores precipitaciones, menor es el pH del suelo. El efecto de la precipitación sobre los cationes explica el hecho porque en las zonas más lluviosas se presentan los suelos más ácidos, con menos contenidos de cationes básicos, mayores contenidos de cationes metálicos que producen hidrólisis ácida y por consiguiente un valor menor de pH. El pH o grado de acidez de un suelo, es una medida de la concentración de iones de hidrógeno (H^+) presentes en la solución del suelo. La medida de concentración de iones H^+ indica que existe presencia de ácidos en el suelo tales como ácido nítrico, ácido sulfúrico, ácido carbónico, ácido fosfórico, entre otros, por lo que, ya que el agua contenido en el suelo se evapora, lo cual ocasiona que se incremente la concentración de los ácidos presentes en la solución del

suelo. También el pH del suelo afecta al proceso de lixiviación de las sustancias nutritivas para las plantas. Un suelo ácido tiene una capacidad menor de retención catiónica porque los iones hidrógeno desplazan a los cationes como el del potasio y el de magnesio. En un suelo con pH ácido, los iones H^+ reemplazan a los de calcio, magnesio y potasio, los cuales son lavados posteriormente del suelo, disminuyendo la riqueza de nutrientes disponibles. La composición de la fracción arcilla de los suelos también tiene una relación estrecha con la lixiviación, ya que se ha observado que a medida que la precipitación es mayor, el lavado del silicio aumenta y la secuencia de arcillas en el suelo es: mineral primario, arcilla 2:1, arcilla 1:1, óxidos e hidróxidos de aluminio y hierro. En este estudio se encontró una correlación significativa y positiva del contenido de arcilla con la precipitación, lo cual muestra que conforme se incrementa la precipitación, el contenido de arcilla también se incrementa, aunque esta relación solo se presentó en el sitio “El Bajío”. Las variables climatológicas temperatura promedio, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad del aire y precipitación, son las que mostraron correlaciones significativas con variables del suelo como conductividad eléctrica, contenido de calcio, arena, limo y arcilla, aunque no fueron consistentes en ambos sitios de estudio. Estos resultados muestran el efecto que ejerce el clima sobre las propiedades físico-químicas del suelo. En el caso específico de la conductividad eléctrica en el sitio “El Bajío”, los resultados muestran que conforme se incrementa la precipitación, la conductividad eléctrica también se incrementa, lo cual es contrario a lo que sucede en la práctica o en la naturaleza, dado que un estado de mayor humedad presentaría una solución más diluida pero de escasa duración temporal; un estado más seco elevaría la concentración pero sería muy variable en el tiempo. Sin embargo, la salinización natural del suelo es un fenómeno asociado a condiciones climáticas de aridez y a la presencia de materiales originales ricos en sales, como sucede con ciertas margas. No obstante, existe una salinidad adquirida por el riego prolongado con aguas de elevado contenido salino, en suelos de baja permeabilidad y bajo climas secos subhúmedos o más secos. Tal y como se realizó en este estudio, el contenido salino del suelo se midió de forma indirecta, dado que la presencia de iones en el agua, la hace conductora de la electricidad, por lo que se utilizó la conductividad del extracto de saturación para estimar el contenido de sales solubles. Se entiende por extracto de saturación la solución extraída del suelo

después de saturarlo con agua, buscando situarlo en un punto cercano a su capacidad de campo, dada que esta es la situación más perdurable con una concentración mínima de sales. Como quiera que la conductividad eléctrica difiera con la movilidad de los iones y por tanto con la temperatura, para obtener valores comparables siempre se mide a una temperatura fija de 25° C. El hecho que la conductividad eléctrica muestre variación con la temperatura, coincide con los resultados de este estudio, ya que se encontró que la conductividad eléctrica se correlacionó positivamente con la temperatura promedio, máxima y mínima en ambos sitios. Otras variables climatológicas que también se correlacionaron significativamente con la conductividad eléctrica, contenido de calcio, arena, limo y arcilla del suelo, fueron punto de rocío, radiación solar, energía solar, índice de calor, sensación térmica del viento y otros índices; sin embargo, en tales casos, es probable que se deba principalmente a las interrelaciones entre las variables del sitio y sólo en menor grado a un efecto directo de tales factores, ya que no existen reportes previos sobre alguna explicación física, química o biológica de la relación entre estas variables.

Las interacciones entre el clima y los reinos animal, vegetal y mineral han mantenido originalmente un equilibrio entre sí mediante mecanismos autorreguladores que permiten recompensar las variaciones características de los ecosistemas naturales (Anderson, 1983). Sin embargo, la injerencia del hombre en esos sistemas aumenta cada vez más en forma directa a través de sus demandas de productos y servicios, por lo que el equilibrio alcanzado entre el ambiente físico y las comunidades bióticas cambia e influye profundamente en el estado actual que se observa en el paisaje y en la biósfera. Grandes extensiones de praderas y bosques se han convertido directamente en agroecosistemas donde el cultivo de especies mejoradas permite un incremento en la producción de alimentos para el hombre en forma directa a través de plantas comestibles o en forma indirecta a través de animales domésticos y, en menor grado, a través de la fauna silvestre. Esta conversión o modificación de los ecosistemas tiene sus limitaciones tanto en los factores climáticos e hídricos como en los edáficos y topográficos (Anderson, 1983). Es fácil suponer la diferencia entre la condición del suelo y los factores microclimáticos de un sitio y otro, lo que no es fácil es medir esa diferencia en términos de grado de erosión laminar, diferencia en eficiencia del uso del agua, entre otros factores (Anderson, 1983).

Las relaciones de las variables climatológicas y variables químicas de especies de leguminosas que se presentaron en este estudio, no fue igual para ambos sitios; por ejemplo, en “El Bajío”, se correlacionó positivamente el contenido de proteína con la precipitación, mientras que en “El Comitán”, la relación de estas variables no fue significativa; sin embargo, en este sitio, la proteína se correlacionó con las variables de humedad, punto de rocío y velocidad promedio del viento. En cuanto a la correlación de proteína, la humedad, el punto de rocío y la precipitación, ésta relación era de esperarse, ya que al incrementarse la precipitación, se incrementa la humedad y el punto de rocío y por ende, el contenido de nitrógeno del suelo, mismo que es fijado por la planta y este a su vez, está relacionado con el contenido de proteína que tiene la planta, por lo que la proteína de la planta se incrementa conforme la precipitación, la humedad y el punto de rocío son mayores. El nitrógeno tiene una importancia significativa en el metabolismo, prácticamente es imprescindible, así como en la utilización de otros procesos como estructural y reproductivo. Durante el período de fructificación, las proteínas disminuyen, esto por la acción de las enzimas sobre la maduración del fruto, las cuales reemplazan a algunas proteínas, o bien las utilizan para el proceso (Rojas-Garcidueñas, 1993). En relación a la fibra cruda, a pesar de no intervenir en procesos metabólicos, pues se produce como resultado del crecimiento y desarrollo, por la formación de celulosa, hemicelulosa y lignina principalmente, es importante nutricionalmente en procesos digestivos. En el sitio “El Bajío”, se encontró que la fibra cruda se correlacionó con la radiación, radiación solar máxima y energía solar y con la velocidad máxima del viento, mientras que en el sitio “El Comitán”, esta variable no se relacionó con ninguna variable climática; sin embargo, se observó que en ambos sitios, la celulosa mostró relación con las mismas variables del clima que la fibra cruda, como era de esperarse, ya que la fibra cruda se forma tanto de celulosa como de hemicelulosa y lignina. Los resultados de este estudio coinciden con los reportados por Van Soest (1982) quien afirma que al relacionar de estructuras de resistencia de las plantas con las variables del clima, se debe considerar la fisiología de una planta, la cual tiene una regulación térmica diferente a la de un animal, pues la planta depende de la temperatura ambiental, de la luz, la humedad, entre otros factores del clima, a diferencia de los animales, cuya temperatura es constante. Si una planta crece en un ambiente más cálido,

la reserva metabólica se acelera, con lo que el calor se disipa más rápido y el crecimiento de la planta aumenta. Los fotosintatos que fija se localizan en dos diferentes lugares: estructuras de resistencia (como lignina, celulosa y hemicelulosa) y reservas de la planta y concluye que de los factores ambientales los que más influyen en las reservas de las plantas, sustancias protectoras y de resistencia de la misma, son la temperatura, la luz y el agua. El mismo autor menciona que el efecto de estas características climáticas es que cambian el porcentaje de la digestibilidad de algunos pastos, ya que los que crecen en la montaña, presentan contenido menor de lignina y mayor digestibilidad que en las partes bajas, lo que significa que las temperaturas más frías dominan sobre la humedad para promover una mayor digestibilidad.

Los resultados del presente estudio en cuanto a la relación de algunos minerales del suelo en ambos sitios de estudio como son calcio, hierro, sodio, magnesio y manganeso, los cuales mostraron correlaciones positivas o negativas con algunas variables del clima como precipitación, humedad, velocidad promedio y máxima del viento, temperatura promedio, temperaturas máximas y mínimas, entre otras, coinciden con lo reportado por Reich y Oleksyn (2004) quienes indican que los patrones geográficos de los minerales de las hojas de las plantas, se relacionan con las variables climáticas entre las que se incluyen principalmente la temperatura, la precipitación, la longitud de la estación de crecimiento y de la variabilidad climática. Otros autores mencionan que la temperatura y la precipitación son las variables climáticas más críticas que forman la distribución y estructura de la vegetación (Woodward, 1987; Brown y Lomolino 1998) pero existe un número de maneras en que estas se presentan, incluyendo tanto los promedios como la variabilidad anual y las escalas de las estaciones de crecimiento (Reich y Oleksyn 2004). El clima, el contenido de nutrientes del suelo y la composición de las especies, influyen de manera compleja en la biogeografía de los minerales de la planta (Hou 1983; Reich y Oleksyn, 2004) tal y como se presentó en los resultados de este estudio, donde variables como la dosis de rayos ultravioletas, la máxima de rayos ultravioleta, la evapotranspiración, la sensación térmica del viento, el índice de calor, entre otros índices, mostraron relación positiva o negativa con algunos minerales del suelo, lo cual determina la complejidad de las interacciones clima-suelo-planta; sin embargo, se debe considerar la posibilidad de que exista colinealidad entre

las variables del clima, que potencialmente pueden enmascarar el rol real o verdadero que existe entre estos factores, por lo que en futuros trabajos se deben emplear modelos generales de regresión parcial que permitan separar la varianza explicada por múltiples factores (Heikkinen *et al.*, 2005) dentro de efectos independientes de factores individuales y sus efectos interactivos dentro de los factores restantes (Legendre y Legendre, 1998). En términos generales, las correlaciones entre las variables climatológicas con las variables químicas del suelo, de las especies y con los minerales de las especies, parecen obedecer a la dependencia e interrelaciones entre ellas. Cada grupo de variables las que incrementan y las que disminuyen en los sitios de estudios, tienden a relacionarse entre sí. Esta tendencia conduce en muchos casos a que los grupos de variables se relacionen positiva o negativamente en los sitios de estudio. Resultados similares encontró Ramírez (2009) quien reporta que las variables climáticas mostraron correlaciones similares y por lo tanto parecen actuar de forma conjunta en muchas de las correlaciones con las variables de las plantas como las fenológicas, entre otras; sin embargo, esta tendencia puede diferir del patrón general que cabría esperarse, por lo que es importante evaluar estas relaciones en las diferentes zonas alrededor del mundo.

Relación de las variables físico-químicas del suelo con la composición químico-mineral de las especies leguminosas en los sitios de estudio

La relación de las variables del suelo con las variables químicas de leguminosas de ambos sitios de estudio, mostró correlaciones entre el pH, la conductividad eléctrica, el contenido de calcio, fósforo, arena, limo y arcilla, con las variables hemicelulosa, lignina ácido detergente, energía, proteína, celulosa, lo cual explica la relación directa de la composición física, química y de fertilidad del suelo con el valor nutritivo de las especies de plantas, principalmente forrajeras como las leguminosas que se estudiaron, demostrando las variaciones que existen en dicho valor nutritivo, diferencias que se deben a las variaciones de las condiciones como son el clima, el suelo, el material genético y en los casos donde las especies forrajeras o no forrajeras son de cultivo, influyen las fertilizaciones y el manejo general del cultivo (Norton, 1981).

Los resultados de este estudio mostraron correlaciones positivas y negativas de las variables químicas del suelo como contenido de arena, limo, arcilla, calcio y materia orgánica con algunas variables minerales de especies leguminosas como cobre, hierro y níquel, aunque estas relaciones no se presentaron en ambos sitios. Otros estudios han demostrado que el contenido de los distintos minerales de las plantas, al igual que las fracciones orgánicas, es muy variable, ya que es muy afectado por la fertilidad del suelo, los factores genéticos y los climáticos. Los pastos y otras especies de plantas forrajeras y no forrajeras naturales, dependiendo del tipo de suelo y sobre todo de la época del año pueden ser deficientes en uno o más minerales (Minson, 1981). Si bien no todas las variables químicas del suelo mostraron relación con los minerales de las especies leguminosas estudiadas, es evidente el efecto de la composición química y física del suelo en la composición de los minerales de las plantas, lo cual se ha demostrado en otros estudios que indican que las plantas terrestres absorben los nutrientes minerales directamente del suelo y en ese sentido, los atributos químicos del suelo, por ejemplo el pH y la disponibilidad de nutrientes minerales, son críticos para el crecimiento de las plantas y afectan los patrones del contenido mineral de las hojas de las plantas (Foulds, 1993; Vitousek y Farrington, 1997; Pärtel, 2002; Lynch y St. Clair, 2004). Resultados similares encontraron Hang *et al.* (2011) cuando analizaron patrones de variación de 11 elementos (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, silicio, hierro, sodio, manganeso y aluminio en hojas de 1900 especies de plantas en China, determinando que las concentraciones de estos elementos minerales mostraron tendencias latitudinales y longitudinales, con influencia significativa del clima, la composición del suelo y el tipo funcional de la planta. El contenido mineral de las plantas forrajeras representa una limitante muy importante en los sistemas de producción animal. Sin embargo, la deficiencia de estos es generalizada e independiente de la variación de la oferta forrajera. El tipo de suelo, las prácticas de fertilización inapropiadas y la utilización de suplementos minerales de calidad baja, determinan en muchas explotaciones ganaderas, deficiencias o desbalances de minerales en la cadena suelo, planta y animal (Vivas-Maya *et al.*, 2011). Indudablemente que los aspectos ecológicos negativos del uso de la tierra, por ejemplo el sobrepastoreo, el cual genera áreas grandes con suelo desnudo, provocan un cambio negativo en la composición

botánica en cuanto a minerales y otros componentes nutricionales de las especies que son consumidas por los animales (Grulke, 1994). Mediante el presente estudio se determina que el conocimiento de las interacciones que se establecen entre las plantas y los suelos sobre los que se desarrollan, es esencial para comprender el funcionamiento de los ecosistemas, ya que las primeras civilizaciones, como la egipcia o la romana, reconocieron que las propiedades de los suelos condicionaban el tipo de vegetación y la productividad agrícola (Hillel, 1991). En este sentido, durante las últimas décadas se ha multiplicado el número de trabajos que abordan las interacciones planta-suelo desde un enfoque multidisciplinar, permitiendo así comprender el alcance de estas interacciones (Finzi *et al.*, 1998a; van Breemen y Finzi, 1998; Copley, 2000; Wardle *et al.*, 2004).

Variabilidad de las características químico-minerales de las especies leguminosas y físico-químicas del suelo en los sitios de estudio

Los resultados no mostraron diferencias significativas entre estaciones del año, ni entre las especies y la interacción estaciones \times especies para las variables fibra detergente ácida, lignina detergente ácida, celulosa y hemicelulosa. El hecho de no encontrar diferencias significativas entre estaciones del año ni entre las especies de las variables mencionadas, se relaciona principalmente con el tipo de hoja que tienen estas especies, ya que son perennifolias, es decir, que no caducan cada año o se desprenden de la planta, por tal motivo no existe una variación en el contenido de fibras, es decir que la pared celular puede llegar a estabilizarse y no mostrar diferencias. Sin embargo, las estructuras de resistencia de la planta como son la lignina, celulosa y hemicelulosa, tienen una relación directa con la temperatura ambiental, ya que los procesos bioquímicos y fisiológicos básicos relacionados con la síntesis, transporte y degradación de sustancias en las plantas están influenciados por este factor climático. No todas las especies de plantas como los pastos, tienen el mismo valor óptimo de temperatura para el cumplimiento de estas funciones. Por ejemplo, cuando este valor óptimo es superado, los pastos utilizan mecanismos estructurales para reducir los efectos de estrés por altas temperaturas, como es el aumento del contenido de la pared celular, en especial de la lignina, la cual reduce de forma muy marcada la digestibilidad y la calidad de los pastos (Van Soest *et al.*, 1978). Otras variables climáticas que influyen en las

estructuras de resistencia de la planta son la radiación solar y la precipitación; sin embargo, en este estudio, como se mencionó anteriormente, el efecto de las condiciones climatológicas a través de las estaciones del año, no provocó cambios en las variables estructurales. Se ha demostrado que la radiación solar se relaciona con procesos fisiológicos fundamentales, vinculados con el crecimiento y los cambios morfológicos que experimentan las especies de plantas como los pastos y forrajes a través de su desarrollo. Influye en los procesos metabólicos de la planta que determinan su composición química, por cambios en la intensidad y en la calidad de la luz. El aumento en la intensidad de la luz favorece los procesos de síntesis y acumulación de carbohidratos solubles en la planta, mostrando una respuesta inversa con el resto de los constituyentes solubles y estructurales, siempre que otros factores no sean limitantes (Reid *et al.*, 1988). En cuanto a la precipitación, el volumen de agua de las precipitaciones y su distribución a través del año ejercen efectos notables en el crecimiento y la calidad de las plantas como los pastos y especies forrajeras, debido a su estrecha relación con los factores bioquímicos y fisiológicos que regulan estos procesos biológicos de gran complejidad. Tanto el exceso como el déficit de precipitaciones provocan estrés en las especies de los agostaderos, incluyendo las especies forrajeras. En el caso del primero, generalmente ocurre en los suelos mal drenados durante la estación lluviosa o en las regiones donde las precipitaciones son altas durante todo el año. Su efecto fundamental radica en que causa anoxia en las raíces, afectando su respiración aeróbica, absorción de minerales y agua. Sin embargo, el estrés por sequía es más común en las regiones tropicales, afectando la respuesta fisiológica y morfológica de las plantas. El efecto depende de su intensidad y el estado de crecimiento y desarrollo de la planta. En este sentido, el aumento en la calidad de los pastos o especies forrajeras como las leguminosas utilizadas en este estudio, debido al estrés hídrico se asocia a cambios morfológicos en las plantas, tales como la reducción en el crecimiento de los tallos y aumento en la proporción de hojas, elementos característicos en el retraso de la madurez de las plantas. Por su parte, el estrés hídrico disminuye la concentración de la pared celular en las hojas y tallos de los forrajes, aunque de forma variable en sus componentes estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina), atribuible esto último a la necesidad de la planta de mantener altos valores de carbohidratos en formas solubles

durante los ajustes osmóticos (Mertens, 1973). La composición de carbohidratos estructurales de las leguminosas que se estudiaron, como se mencionó anteriormente, no mostraron diferencias entre estaciones del año ni entre especies, lo cual es probable que se relacione con el hecho de que las condiciones ambientales para las distintas regiones, tropical, subtropical, templada, áridas y semiáridas son diferentes, por lo que es posible suponer que las especies forrajeras que se han adaptado a las mismas, pueden diferir en su respuesta a las principales variables climáticas. Se ha demostrado que la respuesta de las gramíneas y leguminosas al medio ambiente, difiere incluso dentro de las propias gramíneas; por ejemplo, es posible ubicar a las gramíneas forrajeras en dos grupos, por un lado tropicales y subtropicales (Clorídeas y Paníceas) y por otro lado templadas (Festúceas) (Carámbula, 1996). Los dos grupos de gramíneas difieren ampliamente entre sí en su respuesta a variaciones de luz y temperatura y su respuesta diferente en cuanto a la calidad forrajera, se debe fundamentalmente a diferencias en el metabolismo fotosintético (plantas C3 y plantas C4). En cuanto a las leguminosas, todas poseen las mismas características de fotosíntesis, respiración y utilización del agua que las gramíneas templadas (Van Soest, 1994). Parlak *et al.* (2011a) encontraron diferencias significativas en la calidad de dos especies leñosas de hoja caduca (*Quercus infectoria* Oliv y *Paliurus spina-cristi* Mill.) y especies herbáceas en los diferentes meses del año, donde el contenido de proteína cruda y fósforo en *Quercus infectoria* Oliv mostraron valores superiores en el mes de abril, pero materia seca y calcio disminuyeron en este mes, mientras que la energía metabolizable fue mayor en los meses de mayo y junio. Para *Paliurus spina-cristi* Mill., la materia seca, cenizas y calcio disminuyó en abril-mayo pero la proteína cruda y la energía metabolizable incrementaron en el mes de mayo. Por su parte, las especies herbáceas evaluadas, mostraron valores inferiores de materia seca, fibra neutro detergente y fibra detergente ácida en abril y valores superiores de proteína cruda y energía metabolizable en marzo-abril. En otro estudio reportado por Parlak *et al.* (2011b) evaluaron la calidad y el rendimiento de seis especies de matorral asociado al área mediterránea de Turquía (*Quercus coccifera* L., *Phillyrea latifolia* L., *Juniperus oxycedrus*, *Cistus creticus* L., *Sarcopoterium spinosum* L. Spach and *Thymus longicaulis* C. Presl.) y encontraron diferencias entre las estaciones del año de la materia seca, la fibra neutro detergente, la

fibra ácido detergente, la lignina detergente ácida, las cuales mostraron valores superiores en el mes de octubre, mientras que la proteína cruda, la energía metabolizable, el contenido de fósforo y calcio mostraron valores altos en la primavera, aunque estas diferencias solo se presentaron en tres especies (*Quercus coccifera* L., *Phillyrea latifolia* L., and *Thymus longicaulis* C. Presl.). Lo contrario sucedió durante los meses de verano e invierno. Los cambios de las especies *Juniperus oxycedrus*, *Cistus creticus* L., *Sarcopoterium spinosum* L. Spach no fueron estables. En algunas especies herbáceas nativas del Noreste de México como *Coldenia greggii* (T and G) Gray., *Dyssodia pentachyata* (DC) Robins, *Haplapapus spinalasus* (Oreene) Hall., *Heliatrapium angiaspermum* (Murr.), *Palafoxia texana* DC., *Polyanthes maculosa* (Hook) Shinn., *Ruellia corzoi* (Tram and BurIk.), *Sida filiculis* (T and G.) y *Zephyranthes arenicola* (Hemsl.) encontraron que durante la primavera y el otoño, cuando la precipitación fue alta, el contenido de cenizas y proteína cruda mostraron valores superiores respecto al resto de las estaciones del año, lo contrario mostraron el contenido de fibra detergente neutra y lignina (Ramírez y Núñez-González, 2006).

El análisis proximal de especies leguminosas de ambos sitios de estudio, no mostró diferencias significativas entre estaciones, ni en la interacción de estación \times especie, pero sí entre las especies leguminosas. Las variables del análisis proximal que mostraron diferencias significativas entre especies fueron humedad, proteínas, extracto libre de nitrógeno y energía. De las especies leguminosas estudiadas, *Parkinsonia praecox* (palo brea) fue la que mostró valores superiores de humedad, proteínas, extracto libre de nitrógeno, en ambos sitios, a excepción del sitio “El Comitán”, donde *Parkinsonia floridum* (palo verde) mostró igualdad estadística con palo brea en el contenido de humedad y *Lysiloma candida* (palo blanco) en la variable extracto libre de nitrógeno, mientras que los valores superiores de energía en ambos sitios, los mostraron las especies *Lysiloma candida* (palo blanco) y *Prosopis articulata* (mezquite). Los resultados de este estudio no coinciden con los reportados por Medina-Córdova *et al.* (2013) quienes encontraron que el contenido de proteína cruda de especies forrajeras asociadas al agostadero en una zona semiárida, osciló a lo largo del año, siendo a finales de verano cuando se presentó un contenido mayor, mientras que durante la primavera el contenido de proteína cruda fue menor. Por su

parte, Ramírez-Orduña *et al.* (2003) evaluaron diez especies de plantas nativas de Baja California Sur y encontraron dos periodos, uno de buena calidad forrajera representada por valores nutricionales de especies leguminosas durante las estaciones de otoño e invierno y otro periodo de menor calidad forrajera, representado por especies no leguminosas, durante las estaciones de primavera y verano. Durante este último periodo, el contenido de proteína cruda en las leguminosas es casi el doble que en las no leguminosas. Los resultados del presente estudio igualmente difieren de los reportados por Ramírez-Orduña *et al.* (2003) ya que además, Medina-Córdova *et al.* (2013) y Ramírez-Orduña *et al.* (2003) demostraron que los cambios de incrementos abruptos de proteína cruda se deben a la presencia de hierbas y brotes tiernos en la época húmeda. Otros estudios han demostrado que la producción de forraje y los valores nutricionales de arbustos y otras especies del agostadero, presentan cambios considerables dependiendo de la especie, la variedad, el clima, el suelo y el estado de madurez de la planta (Khan *et al.*, 2007; Mountousis *et al.*, 2008) lo cual coincide con los resultados de este estudio, porque las diferencias en cuanto al análisis proximal, es decir, el valor nutritivo, se presentó entre las especies de leguminosas. De acuerdo con Hacker (1981) el valor nutritivo de las especies de plantas es la resultante de la ocurrencia de factores intrínsecos de la planta como la especie, parte de la planta, composición química, digestibilidad, factores ambientales, factores propios del animal y la interacción entre las pasturas, el animal y el ambiente. También las enfermedades, proceso de conservación, fertilidad del suelo, fertilización y consociaciones, éstas últimas relacionadas con la interacción de especies de diferentes familias como gramíneas y leguminosas. De las cinco especies de leguminosas del presente trabajo, *Prosopis articulata* (mezquite) es la planta más investigada. Es característica de las zonas áridas de México, donde constituye comunidades muy reducidas de especies forestales maderables y la mayoría se explota en forma irracional ya que es abundante en el ambiente ecológico. Las especies de *Prosopis* son un elemento importante de la vegetación, porque se utiliza como refugio, leña, alimento para el hombre, así como sombra y forraje para la fauna silvestre y doméstica e indiscutible el valor de sus flores en apicultura (Corona-Castuera *et al.*, 2000). Se ha demostrado que las especies arbóreas o arbustivas modifican distintamente las condiciones del suelo y estos cambios favorecen el reclutamiento de

plántulas de las propias especies (inclusive a otras especies como es el caso del mezquite) dando lugar a un efecto de retroalimentación positiva (Aponte, 2010). El hecho de que *Parkinsonia praecox* y *Parkinsonia floridum* mostraron valores altos en el contenido de proteína, es posible que se deba al contenido de humedad alto que mostraron ambas especies, ya que está demostrado que dicho contenido es importante porque actúa de manera directa en el metabolismo básico e interviene en la mayoría de los procesos celulares de las plantas (Corona-Castuera *et al.*, 2000). También estas dos especies mostraron valores altos de extracto libre de nitrógeno. La especie con contenido de humedad menor fue *Lysiloma candida* y también mostró el valor más bajo de proteína en ambos sitios. Otros estudios también han demostrado variabilidad en el análisis proximal de especies forrajeras, incluyendo leguminosas como *Bauhinia purpurea* y especies no leguminosas como *Artocarpus lakoocha* y *Garuga pinnata*; sin embargo, la especie leguminosa mostró valores superiores en el contenido de proteína cruda y materia seca (Khanal y Upreti, 2008). El hecho de no encontrar diferencias significativas entre estaciones en las variables del análisis proximal es acorde con lo reportado por Topps (1992) quien indica que las especies de importancia forrajera para la producción animal difieren en cuanto a su valor nutritivo, porque la profundidad de su sistema radicular toma minerales y accede al agua del acuífero en las épocas de escasez de agua o cuando crecen en suelos superficiales pobres; muchas de estas especies son perennes o presentan follaje en la estación seca, por lo que en consecuencia, la composición química del follaje de los especies arbustivas tiende a variar menos durante el año que la de gramíneas tropicales. En ese sentido, la composición química del follaje de las especies de los agostaderos, difiere en algunos sitios entre estaciones del año, pero no necesariamente todas las variables del análisis proximal presentan variabilidad estacional (Lukhele y Van Ryssen, 2003). Los resultados del presente estudio difieren de los reportados por Ramírez-Orduña *et al.* (1998) quienes evaluaron el perfil de nutrientes (materia seca, cenizas, proteína cruda, lignina, fibra neutro detergente y fibra ácido detergente) de 10 especies de arbustos nativos incluyendo leguminosas como *Acacia peninsularis* (Britt. L. Rose) Standley, *Cercidium floridum* (Benth.), *Pithecellobium confine* (Standley), and *Prosopis* sp. (Torr.) y especies no leguminosas como *Bursera microphyla* Gray (Burseraceae), *Turnera difusa* Willd.

(Turneraceae), *Cyrtocarpa edulis* (Brand) Stand. (Anacardiaceae), *Mimosa xantii*, Gray (Mimosaceae), *Lippia palmeri*, S. Wats (Verbenaceae) y *Opuntia cholla*, Weber (Cactaceae), encontrando que todas las variables analizadas en las hojas de las especies leguminosas y no leguminosas, mostraron variación estacional. Los valores de proteína cruda y hemicelulosa mostraron valores altos en invierno. Muchas de las especies estudiadas mostraron valores altos de lignina, cuyos valores cercanos al 40% del contenido de la pared celular los mostraron las especies *L. palmeri*, *P. confine* y *B. microphyla*. Los resultados del presente estudio son acorde con los reportados por Toyos *et al.* (2013) porque estos autores sí encontraron diferencias significativas en la composición química de hojas de cinco especies de leguminosas evaluadas en una región del Estado de Baja California Sur, cuyas especies fueron huizache (*Acacia farnesiana*), mezquite (*Prosopis glandulosa*), palo hierro (*Olneya tesota*), palo verde (*Cercidium floridum*) y vinorama (*Acacia brandegeana*). Evaluaron materia seca, cenizas, proteína cruda, fibra cruda y energía bruta. El contenido de materia seca fue mayor en *Prosopis glandulosa*, *Olneya tesota* y *Acacia farnesiana*. La concentración mayor de proteína cruda se presentó en *Cercidium floridum*, seguido por *Prosopis glandulosa* y *Acacia farnesiana*. *Prosopis glandulosa* presentó valores superiores de fibra cruda, mientras que los valores inferiores los mostraron *Cercidium floridum* y *Olneya tesota*. *Acacia farnesiana* mostró contenido mayor de cenizas, seguida por *Olneya tesota*. La energía bruta fue superior en *Acacia farnesiana* seguido de *Prosopis glandulosa* y *Acacia brandegeana*. Como era de esperarse, la composición nutricional de las especies difiere entre especies, regiones y sitios, porque el macroambiente en general, en combinación con el microambiente en particular, son los determinantes de la composición vegetal primitiva. Cualquier alteración en los factores ambientales debido a pastoreo o cualquier otro medio se reflejará a través de cambios en otros factores ambientales y en la respuesta vegetal (Anderson, 1983).

Los minerales determinados en el tejido de las especies leguminosas que mostraron diferencias significativas entre estaciones fueron magnesio y hierro en ambos sitios, mientras que sodio solamente mostró diferencias en el sitio “El Comitán”. El contenido de magnesio y sodio fue mayor en la estación de invierno, en ambos sitios, mientras que el contenido de hierro fue superior en primavera pero mostró igualdad estadística para la

estación de invierno. Estos resultados coinciden en parte con los reportados por Medina-Córdova *et al.* (2013) quienes encontraron diferencias en el contenido de cenizas entre estaciones del año en 17 especies de las cuales se consideraron árboles leguminosos como *Prosopis* spp., *Cercidium floridum* y *Cercidium praecox*; árboles o arbustos como *Jatropha cinerea*, *Bursera microphyla*, *Cyrtocarpa edulis*, *Bursera hindsiana*, *Sphaeralcea coulteri*, *Fouquieria diguetii*, *Colubrina glabra* y *Melochia tomentosa*; arbustos no leguminosos como *Amaranthus palmeri* y *Portulaca oleracea*; especies de pastos como *Aristida* sp. y *Cenchrus ciliaris*; y cactáceas que incluyeron a *Stenocereus thurberi* y *Pachycereus pringlei*. El contenido de cenizas fue mayor durante el otoño seguido por la estación de invierno, mientras que en las estaciones de verano y primavera las especies presentaron un contenido menor. La ceniza de plantas tiene un alto contenido de potasio, calcio, magnesio y otros minerales esenciales para ellas, por lo que es de esperarse diferencias del contenido mineral entre estaciones, tal y como se presentó en este estudio; sin embargo, estos resultados no coinciden con lo reportado por Ramírez-Orduña *et al.* (2005) quienes mencionan que durante la primavera y verano fue cuando los niveles de calcio, potasio, magnesio, cobre, manganeso y zinc mostraron contenidos menores, además, no reportan diferencias entre hierro, magnesio y sodio, que fueron los minerales que mostraron diferencias entre estaciones para el presente estudio. Estos resultados indudablemente se deben a que los factores relacionados con el suelo, la planta y los animales afectan la concentración y disponibilidad de los minerales (Mc Dowell *et al.*, 1997) y causan desequilibrios con distinta intensidad a través del año (Minson, 1990). Los pastos nativos del noroeste de México, como *Aristida* spp., *Bouteloua gracilis* (Thurb), *Cenchrus incertus* (M.A. Curtis), *Hilaria berlanderi* (Steud. Nash), *Panicum hallii* (Varsey), *Setaria macrostachya* (H.B.K.), y *Cenchrus ciliaris* (L.) son consumidos por especies domésticas y en base al aporte de minerales que ofrecen estos forrajes, se estima que estas especies consumen diferentes forrajes con cantidades suficientes de calcio, hierro y potasio (a excepción del potasio de *Aristida* spp, en invierno y verano) de sodio, zinc y manganeso solo en primavera y otoño y de cobre solo en otoño. El contenido de fósforo y magnesio fueron deficientes en la mayoría de los pastos y en todas las estaciones (Ramírez *et al.*, 2004). Los resultados de este estudio coinciden con lo reportado Cabrera-Torres *et al.*

(2009) quienes indican que el contenido de minerales en los forrajes está afectado por múltiples factores, uno de los más importantes es la localización geográfica. Otras investigaciones demostraron que en clima templado se obtuvieron contenidos de calcio, magnesio, hierro y cobre en praderas de *Lolium perenne* L. que eran insuficientes para cubrir los requerimientos de los animales domésticos en pastoreo, mientras que las concentraciones de fósforo, sodio y potasio fueron mayores al nivel normal (Sánchez *et al.*, 1997). En cambio, en una zona semidesértica, el calcio, magnesio y hierro se encontraron en los forrajes en cantidades suficientes para satisfacer los requerimientos de bovinos de razas cárnicas en pastoreo; sin embargo, los forrajes fueron marginalmente deficientes en fósforo, sodio, zinc y cobre (Ramírez *et al.*, 2002). En zona tropical es frecuente encontrar deficiencias de fósforo en praderas de Buffel común en crecimiento, mientras que el cobre y manganeso muestran deficiencias durante la época seca (Ramírez *et al.*, 2002).

En el presente estudio, el factor especies mostró diferencias significativas para potasio, magnesio y manganeso en ambos sitios, pero además, en el sitio “El Comitán”, también el contenido de sodio, zinc y hierro, fueron diferentes entre las especies. En el sitio “El Bajío”, la interacción de los factores estación \times especie no mostró diferencias significativas para ninguno de los minerales evaluados; sin embargo, en “El Comitán” esta interacción mostró diferencias significativas para sodio, magnesio y zinc. Indudablemente que las diferencias en el contenido mineral de las especies dentro de cada sitio, obedecen a la interacción al tipo de especie y a la interacción con el medio ambiente; sin embargo, el hecho de que en las especies colectadas en el sitio “El Comitán” mostraron diferencias en el contenido de sodio, es probable que se relacione con el hecho que estas especies se ubican cerca de la costa, por lo que los suelos y la brisa marina, contribuyen en mayor medida en la absorción de este mineral, principalmente por las especies *Parkinsonia floridum*, *Parkinsonia praecox* y *Prosopis articulata*, igualmente estas especies mostraron contenidos superiores de potasio, magnesio, manganeso, zinc y hierro, aunque potasio fue superior solo en *Olneya tesota* en “El Comitán”. Estos resultados son contundentes en cuanto a lo que reporta Botacio y Garmendia (1997) quienes indican que el contenido mineral de los forrajes representa una limitante muy importante en los sistemas de producción. Sin

embargo, la deficiencia de estos es generalizada e independiente de la variación de la oferta forrajera. El tipo de suelo, las prácticas de fertilización inapropiadas y la utilización de suplementos minerales de baja calidad, determinan en muchas explotaciones ganaderas, deficiencias o desbalances de minerales en la cadena suelo, planta y animal. De acuerdo con Vázquez-Piqué *et al.* (2012) el crecimiento de las especies en los agostaderos, al igual que el contenido mineral y nutricional de éstas, dependen en algunos sitios de las estaciones a lo largo de los meses del año; por ejemplo, en primavera se reportan crecimientos máximos y contenidos mineral y nutricional elevados, sobre todo si la reserva del agua en el suelo es elevada y las temperaturas son altas. En cambio, durante la época de verano (estival) existe variación en los componentes minerales y nutricionales debido a la falta de recursos hídricos (Campelo *et al.*, 2007; Gutierrez *et al.*, 2011). En verano se produce incluso contracción de tejidos debido al estrés hídrico que ocasiona que los valores estimados para el mes de agosto sean negativos. Los crecimientos observados en los meses de septiembre y octubre se deben rehidrataciones y/o a la generación de nuevas células por actividad cambial (Vázquez-Piqué *et al.*, 2012). La cuantificación del crecimiento, del contenido mineral y nutricional de las especies en los agostaderos es fundamental para desarrollar trabajos de conservación, evaluación de sistemas de producción, entre otros factores, basados en criterios técnicos y científicos. El análisis de cómo influyen los factores edáficos y climáticos en el crecimiento, contenido mineral y nutricional de las especies, posibilita el paso de modelos estrictamente empíricos a modelos con un mayor componente ecofisiológico, permitiendo un estudio en mayor detalle de las relaciones suelo-clima-planta (Vázquez-Piqué *et al.*, 2012). En cuanto a la interacción de los factores estación \times especie en “El Comitán”, *Parkinsonia praecox* mostró valores superiores de sodio en invierno y de zinc en primavera, mientras que *Parkinsonia floridum* mostró un contenido mayor de magnesio en otoño. Si el contenido de sodio en la especie *Parkinsonia praecox* se relaciona en parte con la brisa marina, era de esperarse que este mineral se incrementara durante la época de invierno, ya que los vientos dominantes a partir del mes de noviembre y hasta el mes de abril en el sitio de estudio, proceden del norte, es decir, del lado del mar en la Bahía de La Paz y parte del sitio conocido como El Mogote. A pesar que el calcio es un elemento mineral que más predomina en los organismos, en el presente

trabajo no se encontraron diferencias significativas en el contenido de esta mineral en las especies leguminosas estudiadas, en ninguno de los sitios. Sin embargo, la concentración de calcio es mayor en las leguminosas que en los pastos, siendo aún mayor en especies de invierno que en especies de verano. Esta concentración depende de la cantidad intercambiable en el suelo y es también influida por el nitrógeno y el fósforo en el suelo (Ramírez *et al.*, 2002). La absorción de calcio en la planta se relaciona directamente con la proporción de la transpiración de la planta. Condiciones de humedad alta, frío y nivel bajo de transpiración causan deficiencias de calcio; el aumento de la salinidad en el suelo también causa deficiencias de calcio, ya que disminuye la absorción de agua por la planta. También las deficiencias de calcio aparecen en las hojas más jóvenes ya que estas muestran una tasa de transpiración muy baja. Los resultados del presente estudio difieren con los reportados por Medina-Córdova *et al.* (2014) en cuanto a que no todos los minerales mostraron diferencias significativas entre estaciones ni entre especies, ya que estos autores al evaluar la composición mineral en hojas, vainas, tallos y flores de 16 especies entre las que se incluyen leguminosas como *Prosopis* spp. (Torr), *Cercidium floridum* (Benth.) ex A. gray subsp. Peninsulare (Rose) Carter and *Cercidium praecox* (R & P) Harms y especies no leguminosas como *Jatropha cinerea* (C.G. Ortega) Muell. (Euphorbiaceae), *Bursera microphyla* Gray (Burseraceae), *Cyrtocarpa edulis* (Brand.) Stand. (Anacardiaceae), *Bursera hindsiana* (Benth.) Engler (Burseraceae), *Fouquieria diguetii* (Van Tieghem) I. M. Jhtn. (Fouquieriaceae), *Colubrina glabra* Wts. (Rhamnaceae), *Melochia tomentosa* (L.) (Esterculiaceae), *Amaranthus palmeri* S. Wats. (Amaranthaceae), *Portulaca oleracea* L. (Portulacaceae) *Aristida* spp. (Gramineae), *Cenchrus ciliaris* L. (Gramineae), *Stenocereus thurberi* (Engelm.) Buxbaum (Cactaceae), *Pachycereus pringlei* (S. Wats) Britt & Rose (Cactaceae), encontraron diferencias significativas entre estaciones, entre especies (leguminosas y no leguminosas) y entre las especies en conjunto, es decir, incluyendo las 16 especies en el análisis general, para los macronutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio y para los micronutrientes como hierro, manganeso, zinc y cobre. Los resultados mostraron que entre estaciones, el contenido de nitrógeno fue mayor en verano y en otoño, el contenido de fósforo fue mayor en primavera, verano y otoño, el contenido de potasio fue mayor en invierno, el contenido de calcio fue mayor en

invierno, el magnesio fue el único mineral que no mostró diferencias significativas entre estaciones; sin embargo, la mayor concentración de este mineral se presentó en primavera y en otoño, mientras que el sodio fue mayor en otoño. En relación a los micronutrientes, el hierro y cobre mostraron valores superiores durante el verano, el manganeso en primavera, verano y otoño, el zinc no mostró diferencias pero el contenido mayor fue durante el verano. El contenido mineral entre las 16 especies mostró los valores superiores de magnesio, potasio y fósforo en *Amaranthus palmeri*, el sodio en *Portulaca oleracea* y el nitrógeno en *Cercidium praecox*, seguido por *Amaranthus palmeri* y *Prosopis* spp. mientras que la mezcla de las especies *Jatropha/Bursera/Aristida* sp. presentó valores superiores de hierro, manganeso y cobre y *Cenchrus ciliaris* el contenido mayor de zinc. Durante las últimas décadas se ha multiplicado el número de trabajos que abordan las interacciones planta-suelo desde un enfoque multidisciplinar, permitiendo así comprender el alcance de estas interacciones (Finzi *et al.*, 1998; van Breemen y Finzi, 1998; Copley, 2000; Wardle *et al.*, 2004). Como se describió en la sección de resultados, el análisis de varianza mostró diferencias estadísticas entre estaciones del año para las variables pH, arena y limo para ambos sitios; sin embargo, en el sitio “El Bajío” también mostraron diferencias significativas magnesio, fósforo y arcilla, mientras que en “El Comitán”, conductividad eléctrica, calcio y potasio. En relación a la variación entre especies, presentaron diferencias significativas conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo, arena, limo y arcilla en ambos sitios; sin embargo, en “El Comitán”, también mostró diferencias el contenido de calcio. Para la interacción de los factores estación \times especie solo en el sitio “El Bajío” se presentaron diferencias significativas para las variables conductividad eléctrica, fósforo y arcilla. Indudablemente que estas diferencias en la composición química del suelo es probable que no se atribuyan directamente al efecto por el cambio de estaciones durante el año; sin embargo, si pudiera tener un efecto ya que en ambos sitios, el contenido de arena predomina sobre la arcilla y el limo y la arena al ser más permeable y presentar otras características físicas distintas al limo y arcilla, es probable que estos suelos presenten modificaciones a través del año, en el contenido de algunos minerales, incluyendo el pH y la conductividad eléctrica. Estos resultados coinciden con los reportados por Connell y Slatyer (1977), Burrows (1990) y Callaway (1995) quienes señalan que las plantas tienen la

capacidad para modificar el suelo inmediato donde crecen. Asimismo, Velderrain-Alcaraz *et al.* (2010) en un estudio realizado en el sitio “El Comitán”, con el objetivo de conocer la relación en el agrupamiento de las especies vegetales dominantes en los montículos entre las que se incluyen a *Jatropha cuneata*, *Jatropha cinerea*, *Stenocereus gummosus*, *Bursera microphylla*, *Fouquieria diguetii*, *Caesalpinia placida* y *Larrea divaricata*, concluyen que en los montículos, cierto grupo de plantas podrían actuar como agentes que facilitarían el desarrollo de subsecuentes generaciones de vegetales, ya sea a través de mejorar las condiciones de ese sitio o bien a través de algún mecanismo de interacción positiva entre especies donde al menos una de ellas es beneficiada. Los resultados del presente estudio mostraron que el contenido de materia orgánica en el suelo muestreado alrededor de *Olneya tesota* en ambos sitios, mostró mayor contenido de materia orgánica, ya que el follaje de esta especie en particular es semideciduo, pero algunos individuos en condiciones favorables lo mantienen siempre verde. Hacia el límite de su distribución, en tierras altas, el recambio de hojas comienza en junio y julio, al tiempo de un rápido desarrollo de frutos. Las ramas que producen muchos frutos suelen quedarse sin follaje (CONABIO-CONANP, 2009). En el sitio “El Comitán”, también el contenido de materia orgánica fue alto en el suelo muestreado alrededor de las especies *Lysiloma candida* y *Parkinsonia floridum*, inclusive mayor que *Olneya tesota*, pero con valores estadísticamente iguales. De acuerdo con Turner (1995) *Parkinsonia floridum* es un árbol caducifolio de hasta 12 m de altura, por lo que al presentar esta característica en cuanto a la caída de sus hojas, provoca un incremento en la materia orgánica del suelo alrededor de la planta. El incremento de la materia orgánica en el suelo alrededor de las especies *Olneya tesota* (“El Bajío”), *Lysiloma candida* y *Parkinsonia floridum* (“El Comitán”), provocó un aumento en la conductividad eléctrica del suelo circundante en estas especies, resultados que coinciden con los reportados por Rostagno *et al.* (1991) quienes mencionan que la acumulación de la hojarasca o *litter*, al descomponerse libera sales que son lixiviadas hacia el suelo. En este mismo sentido, Velderrain-Alcaraz *et al.* (2010) reportaron que las propiedades de suelo descubierto y suelo de los montículos en “El Comitán”, mostró diferencias significativas en la salinidad, que se midió indirectamente con la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo y en el contenido de materia orgánica. La conductividad eléctrica del

suelo en los montículos mostró mayor valor con respecto al suelo descubierto, lo cual se le atribuye a que en el suelo de los montículos, el contenido de materia orgánica fue mayor. Por su parte, García y McKell (1970) mencionan que el contenido de materia orgánica difiere en los suelos de los agostaderos por diferentes factores, dependiendo de las especies, áreas libres de vegetación, especies en montículos, factores climáticos entre otros como la producción de hojarasca de las especies que se acumula y mineraliza *in situ*, por la actividad de la fauna, debido al constante depósito de desechos orgánicos de alimentos, cadáveres y heces y por la eliminación y transporte de los nutrientes en las áreas desnudas por el lavado y su posterior deposición en las áreas adyacentes a las plantas. Innegablemente que el suelo donde se ubicaron las especies arbustivas leguminosas en estudio, presenta modificaciones por efecto tanto del clima como de la propia interacción con los arbustos, ya que está demostrado que los árboles o arbustos en los sistemas agroforestales cumplen funciones ecológicas de protección al suelo, disminuyendo los efectos directos del sol, agua y viento (Montagnine *et al.*, 1992). Por otra parte, modifican también sus características físicas como son la estructura, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad del nitrógeno, fósforo y potasio, por la adición de hojarasca, raíces y tallos (Fassbender, 1993). Asimismo, los sistemas silvopastoriles, que por definición se refieren a sistemas de producción pecuaria en la cual las plantas leñosas perennes (árboles y/o arbustos) interactúan con los componentes tradicionales (animales y plantas forrajeras herbáceas) en un sistema de manejo integral (Pezo e Ibrahim, 1998) contribuyen a disminuir la escorrentía superficial, y por consiguiente la erosión hídrica, aumentando la infiltración en el suelo, contribuyendo a la recarga y soporte de los mantos acuíferos (Ríos *et al.*, 2008). Está demostrado que los árboles y arbustos en los sistemas silvopastoriles mejoran y promueven mayor estabilidad del suelo, debido a la incorporación de materia orgánica y, en consecuencia, el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo (Fassbender y Bornemisza 1994; Gil *et al.* 2005a). La mineralización de la materia orgánica del suelo depende de su naturaleza y de la abundancia y de los factores climáticos, en particular de la temperatura y de la humedad, que condicionan los procesos de mineralización a través de sus efectos sobre la actividad microbiana en el suelo. En los bosques caducifolios templados, todos estos factores variarán claramente en el transcurso

del año (Leirós *et al.*, 1999). Evidentemente que el follaje de las especies leguminosas arbustivas estudiadas en los sitios, protegen la cubierta del suelo, ya que en ambos sitios, el contenido de materia orgánica fue significativo en el suelo circundante a dichas especies, resultados que convergen con los reportados por Ibarra y Martín (1987) quienes consideran que la cubierta del suelo es elemental, ya que el follaje de las plantas lo protege de la lluvia y el viento, las gotas de agua que caen sobre la vegetación, no golpean directamente el suelo, mientras que las que caen de forma directa chocan y compactan la superficie. Por otra parte, las plantas cuando se reduce la velocidad del viento retienen y protegen el suelo, por lo que donde exista una cubierta de vegetación el aprovechamiento del agua de lluvia es mejor, evitando escurrimientos que formarían arroyos que arrastran suelo y materia orgánica. En el presente estudio, el contenido de P promedio por sitio por especie, mostró valor superior en el sitio “El Comitán”, lo cual se debe a que la mesofauna (artrópodos, lombrices y nematodos), como parte de la biota edáfica, intervienen en la descomposición de la materia orgánica, en la aceleración y reciclaje de los nutrientes y en el proceso de mineralización del fósforo y el nitrógeno, factores decisivos para el mantenimiento de la productividad del suelo, lo que se relaciona con el efecto que ejercen los árboles, al regular factores como la temperatura y la humedad y crear por lo tanto, un microclima con características edafoclimáticas acordes con la exigencia de una gran cantidad de organismos vivos que desarrollan su vida o una gran parte de ella en o sobre el suelo (Hernández *et al.*, 2008). El resultado anterior tiene relación directa con el hecho de que el sitio “El Comitán”, no tiene presión antrópica, si bien estuvo sometido a este tipo de presión, debido a la producción ganadera y a la extracción de leña selectiva que eran comunes en el sitio; sin embargo, hace más de 15 años el área fue vallada y se prohibieron estas prácticas. El sitio “El Comitán” cubre una superficie de 200 hectáreas de vegetación silvestre propiedad del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) que desde hace 25 años se ha destinado a la investigación biológica, por lo que su perímetro se encuentra cercado y aislado de la perturbación antropogénica. Maya y Arriaga (1996) reportaron que los únicos signos de perturbación se observaron en ese año en individuos de *Prosopis articulata* que retrasó el crecimiento debido al adelgazamiento selectivo de ramas obtenidas en el pasado para la producción de carbón vegetal. Por otra parte, no es posible

hacer una comparación entre los sitios en estudio, ya que solo algunas variables químicas del suelo mostraron diferencias significativas entre estaciones y entre especies; sin embargo, en términos generales de fertilidad, se esperaría que el sitio “El Bajío” mostrara mayor contenido de los minerales evaluados, ya que este sitio presenta presión antrópica porque está sometido a pastoreo continuo por animales domésticos propiedad del dueño del sitio. Esta aseveración se relaciona porque se ha demostrado que la mayor parte de nutrientes reciclados en un pastizal se presenta principalmente por las deyecciones de los animales y la orina. Otra forma es a partir de la transferencia que hacen los vegetales en los potreros. En teoría los nutrientes son utilizados por plantas y animales varias veces en un período corto de tiempo, mientras transcurre el crecimiento, desarrollo, descomposición y utilización, pueden tardar un año o más (Simón *et al.*, 2005). Los microorganismos presentes en el suelo necesitan desarrollarse en un medio húmedo y, por lo tanto, la humificación y la mineralización tendrán lugar esencialmente en presencia del agua. La cobertura y presencia de los nódulos en las raíces de las plantas permiten un aprovechamiento mejor de la materia orgánica, esto sin contar lo que aportan los animales durante el pastoreo, lo cual incrementa la fertilidad del mismo. Este ciclo de nutrientes, es condición necesaria para que la actividad productiva continúe (Murgueitio *et al.*, 1999). Si bien en este estudio se determinaron variables químicas del suelo y no se consideraron todos los minerales ni variables físicas; está demostrado que una forma indirecta de medir la capacidad de producción, es mediante la fertilidad y esta se puede evaluar a través de la caracterización química, además de los parámetros físicos, biológicos y ambientales (Sadeghian *et al.*, 1998). Si bien los sitios de estudio de esta investigación no se consideran sistemas silvopastoriles como tal, ya que uno de los sitios presenta exclusión (“El Comitán”) y el otro tiene presencia de ganado (“El Bajío”), además, este último sitio no se maneja como un sistema como tal, se ha demostrado que el reciclado de nutrimentos en los sistemas silvopastoriles ocurre a través de la senescencia de biomasa aérea y la muerte de raíces, tanto de las leñosas como del estrato herbáceo. Esto se presenta a través del material podado que permanece en el campo, y que por medio de las excretas que los animales se depositan durante el pastoreo. Indudablemente que las especies y el suelo del sitio “El Bajío” sufren alteración en sus componentes nutricionales y minerales, por estar sometido a

pastoreo, lo cual se ha demostrado que a nivel microambiental y microclimático, los factores y elementos que sufren alteración debido al pastoreo son, entre otros, cantidad de mantillo, evaporación del agua desde la superficie del suelo, luminosidad, temperatura del aire y del suelo, viento, humedad disponible en el suelo y en la atmósfera, balance hídrico, composición florística, fitomasa aérea y subterránea y densidad y compactación del suelo. Todos estos factores están interrelacionados y se produce una reacción en cadena a partir del momento de pastoreo (Anderson, 1983). En sistemas silvopastoriles de baja productividad y en aquellos sometidos a defoliación directa por los animales, la extracción de nutrimentos es generalmente baja, por lo que el reciclaje es un mecanismo eficaz para prevenir una pérdida rápida del potencial productivo del sistema (Libreros *et al.*, 1994). De acuerdo con Rzedowski (1978) el matorral sarcocaula es el tipo de vegetación dominante en gran parte de la península de Baja California. En ambos sitios de estudio de este trabajo de investigación, predomina este tipo de vegetación, la cual es una variante del matorral xerófilo, característico de las zonas áridas de México (Rzedowski, 1978). Esta vegetación se caracteriza por la dominancia de formas arbóreas y arbustivas, armadas y no armadas, principalmente de la familia de las leguminosas, y particularmente por la abundancia de formas suculentas (agaváceas, cactáceas) y semisuculentas (burseráceas, euforbiáceas) con ramaje tortuoso y a veces corteza exfoliante (León de la Luz *et al.*, 2000). La dominancia de la vegetación en los dos sitios de estudio, donde solo se eligieron especies leguminosas, contribuyen a la mejora de la estructura y propiedades químicas del suelo como el pH, ya que el rango del valor promedio de esta variable fluctuó entre 7.37 y 7.61 para “El Comitán” y “El Bajío”, respectivamente. También los arbustos mejoran la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de nutrientes que acarrean mejorando la productividad neta, así como la fertilidad del suelo con el uso de especies fijadoras de nitrógeno atmosférico como las especies leguminosas (Esquivel *et al.* 2003; Petit-Aldana y Suniaga-Quijada, 2005). Indudablemente que la concentración de nutrientes en ambos sitios de estudio difiere debido a varios factores, lo cual se ha demostrado en otros estudios, reportando que dicha concentración, depende del estado fenológico del árbol o arbusto, de las diferentes partes que aportan biomasa y del ambiente donde se genera la descomposición, aumentando también la materia orgánica en el suelo (Bustamante y

Romero, 1991; Schroth *et al.*, 2003). Por su parte, Sánchez *et al.* (2008), Krishnamurthy y Ávila (1999) señalan que los árboles y arbustos del agostadero mantienen las propiedades físicas del suelo, a través del mantenimiento de la materia orgánica y los efectos de las raíces de los árboles, así como la descomposición del mantillo y las podas del árbol, contribuyen al mantenimiento de la fertilidad del suelo, influenciado por la sombra de la copa de los árboles y arbustos, que mejoran la velocidad de mineralización del nitrógeno del suelo. La conductividad eléctrica del suelo muestreado alrededor de las especies leguminosas en ambos sitios, mostró un valor ligeramente mayor en el sitio “El Comitán”, lo cual era de esperarse, ya que este sitio se encuentra ubicado cercano a la costa de la Bahía de La Paz y del El Mogote, se ubica al noroeste de la ciudad de La Paz, Baja California Sur; delimita con el fondo de la Bahía de La Paz, de tal manera que recibe influencia ambiental marina. En algún periodo reciente, debido al activo tectonismo de la península, esta área estuvo bajo el nivel del mar y en la actualidad se considera una superficie de activo depósito aluvial (Hammond, 1954). Los límites del predio son las coordenadas 24°07'97" N 110°26'53"W al noroeste y 24°07'21"N, 110°25'35" W al sureste. Las diferencias en el contenido mineral y de partículas como arena, limo y arcilla en el suelo muestreado alrededor de las especies leguminosas en los sitios de estudio, se consideran discrepancias locales que son afectadas, como se mencionó anteriormente, por diversos factores, lo cual coincide con lo señalado por Martínez-Sánchez *et al.* (1994), Ponzetti y McCune (2001), Ochoa-Hueso *et al.* (2011) quienes determinaron que a una escala local, la vegetación vascular y las propiedades físico-químicas del suelo determinan la composición de las comunidades y la abundancia relativa de sus componentes, debido a los distintos requerimientos de luz, acidez del suelo y disponibilidad de nutrientes, mientras que en una escala regional, la precipitación y la temperatura determinan patrones territoriales de distribución, abundancia de especies, limitan la presencia y el desarrollo de las mismas ya que la mayoría de sus componentes son organismos con requerimientos particulares de humedad (Belnap *et al.*, 2003). Debe tomarse en consideración que el suelo es un ecosistema vivo y complejo compuesto por agua, aire, sustancias sólidas e infinidad de seres vivos que interactúan activamente. Estos elementos son determinantes para la presencia y disponibilidad de nutrientes, los cuales inciden sobre la condición del mismo y

la permanencia de actividades agropecuarias en un sistema productivo (Sadeghian *et al.*, 1998). El presente estudio mostró diferencias significativas en la concentración de fósforo en el suelo muestreado alrededor de las plantas leguminosas, lo cual es evidencia que esta concentración se modifica acorde con la especie y en el caso del sitio “El Bajío”, también mostró diferencias significativas entre las estaciones del año. Estos resultados coinciden con los reportados por Crespo *et al.* (1998) quienes en un estudio donde se evaluaron el reciclaje de nutrientes en sistemas silvopastoriles, obtuvieron un balance positivo para el nitrógeno y el fósforo que aumentaron 22 kg ha^{-1} y 1 kg ha^{-1} , respectivamente, mientras que el contenido de potasio permaneció sin modificación. En el área de pasto natural sin la especie leguminosa *Leucaena* se obtuvo un balance negativo de -15 kg ha^{-1} de N, -6 kg ha^{-1} de P y -17.5 kg ha^{-1} de K, demostrando así la contribución positiva de la *Leucaena* en el balance del nitrógeno y fósforo en el sistema. Este efecto favorable obedece a la fijación biológica del nitrógeno atmosférico por medio de bacterias como *Rhizobium*, asociadas a las especies leguminosas, así como a la descomposición de la hojarasca. El resultado en cuanto al contenido de fósforo en los dos sitios en el suelo muestreado alrededor de las especies leguminosas no coincide con lo reportado por Concostrina *et al.* (2013) quienes señalan que ciertas especies vegetales sirven de protección del suelo frente a la erosión por agua y viento, además se han relacionado positivamente con la concentración de nutrientes como cobre, hierro, potasio, magnesio, manganeso y zinc, y negativamente con la concentración de fósforo en la capa superficial del suelo. En este estudio, se realizaron los muestreos de suelo a diferentes profundidades (5, 30 y 60 cm); sin embargo, para el análisis estadístico de los datos de minerales, se promediaron los valores obtenidos de las tres profundidades, por lo que no se analizó el contenido mineral por profundidad o estrato, lo cual indudablemente hubiese mostrado diferencias entre las profundidades, porque Rodríguez-Baltodano (2010) demostró que valores de pH, calcio y magnesio aumentan con la profundidad mientras los valores de potasio, fósforo, nitrógeno y carbono, disminuyen con la misma. El mayor contenido de calcio y magnesio en la capa inferior, indica que probablemente estos nutrientes se relacionan en primer lugar con la cantidad alta de estos en el material parental de suelo (sedimentos marinos). En cambio, el potasio disponible es mucho mayor en la capa superficial, indicando una relación fuerte con el reciclaje de este

elemento a través de la biomasa. Cabe señalar que en este estudio, el contenido de nitrógeno del suelo solo se midió durante los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, por lo que la base de datos no se completó, lo cual fue motivo para no analizar estadísticamente este mineral. Sin embargo, en un estudio realizado en el sitio “El Comitán” por Velderrain-Alcaraz *et al.* (2010) encontraron que la distribución del nitrógeno, no mostró diferencias en cuanto a la cantidad total dentro y fuera de los montículos de suelo, explicando que los restos nitrogenados se depositan tanto en los montículos como fuera de éstos. Concluyen que de los desechos de la fauna, el más común son las heces de las liebres, que tienden a acumularse en cantidad en los espacios abiertos. El estudio de estos últimos autores no coinciden con los de García y McKell (1970) y Pugnaire (1996) quienes encontraron diferencias estadísticas en el contenido de nitrógeno, pero esos estudios se realizaron en zonas hiperáridas, donde los espacios entre los arbustos son más amplios que en los del trabajo de Velderrain-Alcaraz *et al.* (2010), además, la fauna presenta otras características. En el mismo tema del nitrógeno pero relacionándolo con el carbono, Rao *et al.* (1992) señalan que la relación carbono:nitrógeno en el material senescente de gramíneas tropicales es alta, lo cual contribuye a una tasa menor de descomposición de materia orgánica y a una alta inmovilización del nitrógeno, quedando poco disponible para las plantas. Por lo general, las hojas de las leñosas perennes y de leguminosas poseen niveles elevados de nitrógeno, lo cual ejerce un efecto positivo sobre la actividad biológica del suelo, la mineralización y la liberación de nutrientes a partir de la materia orgánica. Esto sucede siempre y cuando el material senescente no contenga sustancias inhibitoras de la actividad de organismos y enzimas responsables de la descomposición de la materia orgánica.

9. CONCLUSIONES

Estacionalidad de variables climatológicas y su relación con la composición físico-química del suelo y químico-mineral de las especies leguminosas

En ambos sitios de estudio, algunas variables climatológicas se correlacionaron significativamente, tanto de manera positiva como negativa con las variables físico-químicas del suelo y químico-variables minerales de especies leguminosas. Sin embargo, algunas de estas variables, en el contexto real del problema, no presentan una explicación química, biológica o física.

Algunas variables físicas del suelo como contenido de arena, limo y arcilla circundantes en los sitios de crecimiento de las especies leguminosas en estudio, es probable que se asocien mayormente a la génesis de la geología de los sitios de estudio, a su material parental o son producto del arrastre por efecto del agua de lluvia o por el viento.

Las variables climatológicas temperatura promedio, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad del aire y precipitación, mostraron correlaciones significativas con variables del suelo como conductividad eléctrica, contenido de calcio, arena, limo y arcilla, aunque no fueron consistentes en ambos sitios de estudio; sin embargo, es posible afirmar que la interrelación entre algunas variables climatológicas con las características físico-químicas del suelo, muestran el efecto que ejerce el clima en el suelo y este a su vez, influye directa o indirectamente en la biota, presencia, nutrición y crecimiento de plantas del ecosistema.

Las relaciones entre las variables climatológicas y variables químicas de especies leguminosas no fueron iguales en ambos sitios. En “El Bajío”, se correlacionó positivamente el contenido de proteína con la precipitación, mientras que en “El Comitán”, la relación de estas variables no fue significativa; sin embargo, en este sitio, la proteína se correlacionó con las variables humedad, punto de rocío y velocidad promedio del viento.

Las relaciones entre las variables climatológicas y contenido mineral de las especies leguminosas mostraron correlaciones positivas o negativas entre la precipitación, humedad,

velocidad promedio y máxima del viento, temperatura promedio, temperaturas máximas y mínimas con el contenido de calcio, hierro, sodio, magnesio y manganeso de las especies, indicando que los patrones geográficos de los minerales del tejido vegetal de las especies presentan relación directa o indirecta con las variables climáticas, dada la dependencia e interrelaciones entre ellas.

Cada grupo de variables climatológicas, físico-químicas del suelo y químico-mineral de las especies leguminosas, que incrementan y/o disminuyen y se relacionan entre sí, mostraron diferentes tendencias en los sitios de estudios, lo cual permite afirmar que dicha tendencia difiere del patrón general esperado, por lo que es importante evaluar estas relaciones en sitios o zonas particulares donde se desee estimar las interacciones clima-suelo-planta.

Relación de las variables físico-químicas del suelo con la composición químico-mineral de las especies leguminosas en los sitios de estudio

La relación entre las variables del suelo con las variables químicas de leguminosas de ambos sitios, se expresó a través de las correlaciones significativas entre el pH, la conductividad eléctrica, el contenido de calcio, fósforo, arena, limo y arcilla, con las variables hemicelulosa, lignina ácido detergente, energía, proteína, celulosa, lo cual explica la relación directa de la composición físico-química del suelo con el valor nutritivo de las especies de plantas como las leguminosas que se estudiaron.

La relación entre las variables del suelo con las variables minerales de leguminosas, se mostró a través de las correlaciones significativas entre el contenido de arena, limo, arcilla, calcio y materia orgánica con algunos minerales de las plantas como cobre, hierro y níquel; sin embargo, estas correlaciones no se presentaron en ambos sitios. Si bien no todas las variables físico-químicas del suelo mostraron relación con los minerales de las especies leguminosas estudiadas, es evidente el efecto del suelo en la composición mineral de las plantas, dado que éstas absorben los minerales directamente del suelo y en ese sentido, las características físico-químicas del suelo inciden en la disponibilidad de los minerales necesarios para el crecimiento de las plantas, mismos que se manifiestan en el patrón del contenido mineral de las hojas.

Variabilidad de las características químico-minerales de las especies leguminosas y físico-químicas del suelo en los sitios de estudio

Las variables fibra detergente ácida, lignina detergente ácida, celulosa y hemicelulosa no mostraron diferencias significativas en ninguno de los dos sitios entre estaciones del año, entre las especies ni en la interacción estación \times especie. Este resultado puede relacionarse con el tipo de hoja que presentan las especies leguminosas estudiadas, que son perennifolias, es decir, sus hojas no caducan o se desprenden de la planta, por lo que no existe una variación en el contenido de fibras, es decir, la pared celular se estabiliza y no muestra diferencias.

De las variables del análisis químico proximal, solo humedad, proteínas, extracto libre de nitrógeno y energía mostraron diferencias significativas entre las especies, mientras que entre estaciones y en la interacción de estación \times especie, ninguna variable proximal mostró diferencias significativas.

Los minerales de las especies leguminosas que mostraron diferencias significativas entre estaciones y en ambos sitios fueron magnesio y hierro, mientras que sodio solamente mostró diferencias en “El Comitán”. El contenido de magnesio y sodio fue mayor en invierno en ambos sitios, mientras que hierro fue superior en primavera.

Los minerales de las especies leguminosas que mostraron diferencias significativas entre especies en ambos sitios fueron potasio, magnesio y manganeso; sin embargo, en “El Comitán”, sodio, zinc y hierro, también mostraron diferencias entre especies. En “El Bajío”, la interacción de los factores estación \times especie no mostró diferencias significativas para ninguno de los minerales. En “El Comitán” esta interacción mostró diferencias significativas para sodio, magnesio y zinc.

Las diferencias en el contenido mineral de las especies dentro de cada sitio, se deben al tipo de especie y a la interacción con los factores del medio ambiente. Las diferencias mostradas en el contenido de sodio entre especies colectadas en “El Comitán”, es probable que se relacionen con la ubicación más cercana de las especies a la costa, por lo que los suelos y la brisa marina, contribuyen en mayor medida en la absorción de este mineral.

La variabilidad de la composición físico-química del suelo se expresó en las diferencias estadísticas entre estaciones del año en ambos sitios para pH, arena y limo. En “El Bajío” también mostraron diferencias significativas entre estaciones el contenido de magnesio, fósforo y arcilla, mientras que en “El Comitán” mostraron diferencias significativas entre estaciones la conductividad eléctrica, el calcio y potasio.

Las diferencias en la composición físico-química del suelo de los sitios de estudio no se atribuyen totalmente al efecto por el cambio de estaciones durante el año; sin embargo, éstas si contribuyen en modificar dicha composición, porque en ambos sitios, el contenido de arena predomina sobre la arcilla y el limo; la arena al ser más permeable y presentar otras características físicas distintas al limo y arcilla, ésta pudiera presentar modificaciones a través del año y con ello alterar el contenido de algunos minerales, además del pH y la conductividad eléctrica.

La variabilidad de la composición físico-química del suelo también se mostró con las diferencias estadísticas entre especies en ambos sitios para conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo, arena, limo y arcilla. En “El Comitán”, también reveló diferencias significativas el contenido de calcio.

La variabilidad de la composición físico-química del suelo se presentó con las diferencias estadísticas entre la interacción de los factores estación \times especie, que sólo fueron significativas para conductividad eléctrica, fósforo y arcilla en el sitio “El Bajío”.

La variación del clima y del suelo mostró una interrelación entre algunas variables climatológicas, físico-químicas del suelo y químico-minerales de las plantas, contribuyendo en la respuesta y diferenciación de la composición químico-mineral de las especies leguminosas en los sitios y entre las estaciones del año.

10. PERSPECTIVAS

Debido al número reducido de estudios referente a las interacciones entre clima-suelo-planta en el Estado de Baja California Sur, se sugieren más investigaciones con la finalidad de obtener información que conlleve a una mejor toma de decisiones en cuanto a nutrientes del suelo y planta se refiere.

Difundir la información obtenida en este estudio para contribuir en la sustentabilidad de las regiones cuyos pobladores mantienen una relación estrecha con las áreas agrícola y ganadera, para contribuir al aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

Realizar análisis de los minerales esenciales en suelo y planta para entender la interacción.

Incluir en estudios posteriores el factor animal, ya que hacen uso de la vegetación para su alimentación.

11. LITERATURA CITADA

- Anderson, D.L. 1983. Compatibilidad entre pastoreo y mejoramiento de los pastizales naturales. *Prod Anim.* 10:3-22.
- Armenta-Quintana, J.A., R. Ramírez-Orduña, R. Ramírez-Lozano, R. Gonzalo. 2011. Utilización del forraje y selección de la dieta por cabras pastando en un matorral sarcocaulés en el noroeste de México. *Rev Chapingo Ser Cie.* XVII: 163-171.
- Arriaga, L., J. Cancino. 1992. Prácticas pecuarias y caracterización de especies forrajeras en la selva Baja caducifolia. En: *Uso y Manejo de los Recursos Naturales en la Sierra de la Laguna Baja California Sur.* Ortega, A. (ed.) La Paz, México, 155-184.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2005. *Official Methods of Analysis, 18TH Edition.* Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. 1108 p.
- Baraza, E., A. Valiente-Banuet. 2012. Efecto de la exclusión de ganado en dos especies palatables del matorral xerófilo del Valle de Tehuacán México. *Biodivers.* 83: 1145-1151.
- Baraza, E., R. Zamora, J.A. Hódar, J.M. Gómez. 2007. Plant herbivore interaction: beyond a binary vision. En: Pugnaire, F.I., Valladares, F. (eds.). *Functional Plant Ecology, Segunda Edición.* CRC, Boca Raton, Florida, 418-514.
- Belnap, J., K.T. Harper, S.D. Warren. 1993. Surface disturbance of cryptobiotic soil crusts: nitrogenase activity, chlorophyll content, and chlorophyll degradation. *Arid Soil Res Rehab.* 8: 1-8.
- Belsky, A. J., D. M. Blumenthal. 1997. Effects of livestock grazing on stand dynamics and soils in upland forests of the interior west. *Conserv Biol.* 11:315-327.
- Botacio, R., J. Garmendia. 1997. Efecto de la suplementación mineral sobre el status mineral, parámetros productivos y reproductivos en bovinos a pastoreo. *Arch Latinoam Prod Anim.* 5(Supl. 1): 245-247.

- Breceda, A., A., Castellanos, L. Arriaga, A. Ortega. 1991. Conservación y áreas protegidas. En: Ortega, A., Arriaga, L. (eds.), La reserva de la biosfera el Vizcaíno en la península de Baja California. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur A.C. La Paz B.C.S., México, 123–134.
- Brown, J.H., Lomolino, M.V. 1998. Biogeography. Sinauer Associates, Sunderland, MA. 691p.
- Burrows, C.J. 1990. Processes of vegetation change. Unwin-Hyman, London. 555 p.
- Bustamante, J., F. Romero. 1991. Producción ganadera en un contexto agroforestal: Sistemas silvopastoriles. Carta de Rispal. 20:3-11.
- Cabrera-Torres, E.J., E.E. Sosa Rubio, A.F. Castellanos-Ruelas, A.O. Gutiérrez-Baeza, R.M. Callaway. 1995. Positive interactions among plants. Bot Rev. 61: 306-349.
- Campelo, F., E. Gutierrez, M. Rivas, C. Nabais, H. Freitas. 2007. Relationships between climate and double rings in *Quercus ilex* from northeast Spain. Can J For Res. 37: 1915–1923.
- Carámbula, M. 1996. Pasturas naturales mejoradas. Editorial Hemisferio Sur. Uruguay. 413p.
- Cheng K.L., R.H. Bray. 1951. Determination of Calcium and Magnesium in Soil and Plant Material Soil Sci. 72: 449-548.
- CONABIO-CONANP. 2009. Palo Hierro (*Olneya tesota*). Fichas de especies mexicanas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México D.F. 5p.
- Concostrina-Zubiri, L., E. Huber-Sannwald, I. Martínez, J.L. Flores Flores, A. Escudero. 2013. Biological soil crusts greatly contribute to small-scale soil heterogeneity along a grazing gradient. Soil Biol Biochem. 64: 28-36.
- Connell, J.H., R.O. Slatyer. 1977. Mechanisms of Succession in Natural Communities and Their Role in Community Stability and Organization. Am Nat. 111:1119-1144.

- Corona-Castuera, F., F. Gómez-Lorence, E.G. Ramos-Ramírez. 2000. Análisis químico proximal de la vaina del mezquite (*Prosopis glandulosa* var. Torrellana) en arboles podados y no podados en diferentes etapas de fructificación. Rev Chapingo Ser Zon Ar. 1(1): 21-27.
- Crespo, G., Castillo, E., Rodríguez, I. 1998. Estudio del reciclaje de N, P y K en dos sistemas de producción de vacunos de carne en pastoreo. III Taller Internacional Silvopastoril. Matanzas, Cuba. p. 234.
- Cuevas, J., C. Le Quesne. 2005. Low vegetation recovery after short-term cattle exclusion on Robison Crusoe Island. Plant Ecol. 183: 105-124.
- De la Orden, E.A., D. Quiroga, J. Riber, M.C. Morláns. 2006. Efecto del sobrepastoreo en un pastizal de altura. Cumbres de Humaya. Catamarca. Argentina. Rev Ecosist. 15 (3):142-147.
- Debra, P.C., J.E. Herrick, H. Curtis-Monger, H., Huang. 2009. Soil-vegetation-climate interactions in arid landscapes: Effects of the North American monsoon on grass recruitment. J Arid Environ. 74:618-623.
- Di Bella, G., D. Di Trapani, M. Torregrossa, G. Viviani. 2013. Performance of a MBR pilot plant treating high strength wastewater subject to salinity increase: Analysis of biomass activity and fouling behaviour. Bioresour Technol. 147:614-618.
- Dyer, L. A., K. D. Letourneau, G. Vega-Chavarria, D. Salazar-Amoretti. 2010. Herbivores on a dominant understory shrub increase local plant diversity in rain forest communities. Ecol. 91:3707-3718.
- Esquivel, H. I., M. Harvey, C. Villanueva, T. Benjamin, F.L. Sinclair. 2003. Árboles dispersos en potreros de fincas ganaderas en un ecosistema seco de Costa Rica. Agroforestería en las Américas (CATIE). 10 (39-40): 24-29.
- Ezcurra, E., E. Mellink., C. Wehncke, S. González, A. Morrison, D. Warren, D. Dent, P. Driessen. 2006. Natural History and Evolution of the World's Deserts. En: Ezcurra, E. Global Deserts Outlook. United Environment Programme (UNEP), Nairobi, Kenya. 1-26.

- FAO, 1987. Committee on Agriculture (Ninth session). Improving Productivity of Dryland Areas. FAO, Rome. 353-375 p.
- Fassbender, H. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Centro de Agricultura Tropical, Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba. 490p.
- Fassbender, H.W., Bornemisza, E. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José Costa Rica. 420p.
- Fernandez-Illescas, C.P., I. Rodriguez-Iturbe. 2004. The impact of interannual rainfall variability on the spatial and temporal patterns of vegetation in a water-limited ecosystem. *Adv Water Resour.* 27(1): 83-95.
- Foroughbakhch, R., J.L Hernandez-Piñero, A. Carrillo-Parra, A. Rocha-Estrada. 2013. Composition and animal preference for plants used for goat feeding in semiarid northeastern Mexico. *J Anim Plant Sci.* 23 (4): 1034-1040.
- Foulds, W. 1993. Nutrient concentrations of foliage and soil in south-western Australia. *New Phytol.* 125: 529-546.
- García-Moya, B. C.M. McKell. 1970. Contribution of shrubs to the nitrogen economy of a desert-wash plant community. *Ecology*, 51: 81-88.
- Gil, JL., Espinoza, Y., Obispo, N., 2005. Relaciones suelo-planta-animal en sistemas silvopastoriles. *Revista digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias.* 9:20-26.
- Gulke, M. 1994. Propuesta de manejo silvopastoril en el Chaco Salteño. *Quebracho.* 2:5-13.
- Gutiérrez, E., F. Campelo, J. Camarero, M. Rivas, E. Muntan, C. Nabais, H. Freitas. 2011. Climate controls act at different scales on the seasonal pattern of *Quercus ilex* L. stem radial increments in NE Spain. *Trees.* 25(4): 637-646.
- Hammond, E.H., 1954. A geomorphic study of the Cape Region of Baja California. University of California Publications in Geography. University of California Press, Berkeley, Los Angeles. 98p.

- Han, W.X., J.Y. Fang, P.B. Reich, I.F. Woodward, Z.H. Wang. 2011. Biogeography and variability of eleven mineral elements in plant leaves across gradients of climate, soil and plant functional type in China. *Ecol Lett.* 4: 788-796.
- Heikkinen, R.K., M. Luoto, M. Kuussaari, J. Poyry. 2005. New insights into butterfly-environment relationships using partitioning methods. *Proc Royal Soc (B).* 272: 2203-2210.
- Hernández, C.M., C.S. Sánchez, G.L. Simón, G.L. 2008. Efecto de los sistemas silvopastoriles en la fertilidad edáfica. *Zootecnia Tropical.* 26:319-321
- Hillel, D., 1991. *Out of the earth: civilization and the life of the soil.* Maxwell Macmillan International, New York, USA. 67p.
- Hobbs, N.T. 1996. Modification of ecosystems by ungulates. *J Wildlife Manage.* 60:695-713.
- Hou, H.Y. (1983). *Vegetation of China with reference to its geographical distribution.* *Ann. Mo. Bot. Gard.* 70:509-549.
- Huston, J.E., Rector, B.S., Merrill, L.B., Engdahl, B.S. 1981. Nutritional value of range plants in the Edwards Plateau region of Texas. *Texas Agr. Exp. Sta. Bull B-1357,* College Station. U.S.A.
- Ibarra, F.F.A., Martín, R.M.H. 1987. El agostadero. *Revista Rancho* (número 32), versión electrónica disponible en el <http://patrocipes.uson.mx/patrocipes/invpec/ranchos/RA0032.html>. Consultado el 5 de enero de 2016.
- INEGI. 1995. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. *Síntesis Geográfica del Estado de Baja California Sur.* Aguascalientes, Aguascalientes, México. 52 p.
- INEGI. 2013. *Síntesis geográfica del Estado de Baja California Sur.* Anuario estadístico de Baja California Sur. Aguascalientes, Aguascalientes, México. 343-348 pp.
- Jackson, M.L. 1958. *Soil Chemical analysis.* Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 521 p.

- Khan, Z.I., M. Ashraf, A. Hussain, A. 2007. Evaluation of macro mineral contents of forages: influence of pasture and seasonal variation. *Asian-Aust J Anim Sci.* 20:908-913.
- Khanal, R.C., C.R. Upreti. 2008. Evaluation of selected species of tree fodders cultivated for feeding ruminants in the Hills of Nepal. *Pakistan J Nutrition.* 7 (2): 297-302.
- Krishnamurthy, L., Ávila, M. 1999. *Agroforestería Básica. Serie textos básicos para la formación ambiental. Número 3. Editoria PNUMA. Distrito Federal, México.* 337p.
- Legendre, P., Legendre, L. 1998. *Numerical Ecology, 2nd edition. Elsevier Science BV, Amsterdam.* 852 p.
- Leirós, M.C., C. Trasar-Cepeda., S. Seoane., F. Gil-Sotres. 1999. Dependence of mineralization of soil organic matter on temperature and moisture. *Soil Biol Biochem.* 31: 327-335.
- León de la Luz., J.L., R. Domínguez-Cadena, A. Medel-Narváez. 2012. Florística de la selva baja caducifolia de la Península de Baja California, México. *Bot Sci.* 90(2), 143-162.
- León de la Luz, J.L., J.J. Pérez Navarro, A. Breceda. 2000. A transitional xerophitic tropical plant community of the Cape Region, Baja California. *J Veg Sci.* 11(4): 555-564.
- León de la Luz, J.L., R. Domínguez-Cadena. 2006. Herbivory of feral goats on Espiritu Santo Island, Gulf of California, Mexico. *SIDA, Contrib Bot.* 1135-1143.
- Lewis, D. W., 1984. *Practical Sedimentology. Hutchinson Ross Publishing Company, New York.* 227p.
- Libreros, H.I., Benavides, J.L., Kass, D. y Pezo, D. 1994. Productividad de una plantación asociada de poró (*Erythrina poeppigiana*) y king grass (*Pennisetum purpureum* x *P. Typhoides*). Movilización de minerales. En: *Árboles y Arbustos Forrajeros en América Central. Centro de Agricultura Tropical, Investigación y Enseñanza (CATIE). Informe Técnico.* 236(2):475-494.
- Little, T.M., F.J. Hills. 1989. *Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. 2ª edición. Edit. Trillas. México, D.F.* 270p.

- Lukhele, M.S., J.B.J. Van Ryssen. 2003. The chemical composition and potential nutritive value of the foliage of four subtropical tree species in southern Africa for ruminants. *S Afr J Anim Sci.* 33: 132-141.
- Lynch, J.P., S.B. St. Clair. 2004. Mineral stress: the missing link in understanding how global climate change will affect plants in real world soils. *Field Crops Res.* 90: 101-115.
- Martínez-Sánchez, J.J., M.Casares-Porcel, J. Guerra, L. Gutiérrez-Carretero, R.M. Ros, J. Hernández-Bastida, M.J. Cano. 1994. A special habitat for bryophytes and lichens in the arid zones of Spain. *Lindbergia.* 19:116-121.
- Maya, Y., L. Arriaga. 1996. Litterfall and phenological patterns of the dominant overstorey species of a desert scrub community in north-western Mexico. *J Arid Environ.* 34: 23-35.
- McDowell, L. R., J. Velásquez-Pereira, G. Valle. 1997. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales.* Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA. 81p.
- Medina-Córdova, N., J.L. Espinoza-Villavicencio, N.Y. Ávila-Serrano, B. Murillo-Amador. 2014. Evaluation of minerals of shrub plant forages consumed by goats in the arid southern rangeland of the Peninsula of Baja California, Mexico. *Animal Nutr Feed Tech.* 14:511-522.
- Medina-Córdova, N., J.L. Espinoza-Villavicencio, N.Y. Ávila-Serrano, B. Murillo-Amador. 2013. Composición química de forrajes del agostadero y su relación con la composición química de leche de cabras criollas. *Interciencia.* 2: 132-138.
- Mertens, D.R. 1973. Application of theoretical models to cell wall digestion and forage intake, Ph.D. Thesis. Cornell University, Ithaca, New York, U.S.A. 187 p.
- Minson, D.J. 1981. Effects of chemical and physical composition of herbage upon intake. En: Hacker, J.B. 1981. *Nutritional Limits to Animal Production.* Proc. Int Symp. St. Lucia, Queensland, Australia. CAB, UK. 536 p.
- Minson, D. J. 1990. *Forages in ruminant nutrition.* Academic Press, San Diego, USA. 463 p.

- Montagnini, F., Pevetti, L., Thrupp, L.A., Beer, J., Borel, R., Budowski, G., Espinoza, L., Heuveldop, J., Reiche, C., Russo, R., Salazar, R., Alfaro, M., Rojas, I., Berstch, F., Fernández, E., González, M., Alvim, R., Shaheduzzaman, M.D., Nichols, D. 1992. Sistema Agroforestales: Principios y Aplicaciones en los Trópicos. Centro de Agricultura Tropical, Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba. 662 p.
- Mothershead, K., R.J. Marquis. 2000. Fitness impacts of herbivory through indirect effects on plant-pollinator interactions in *Oenothera macrocarpa*. *Ecology*. 81(1): 30-40.
- Mountousis, J., K. Papanikolaou., G. Stanogias., F. Chatzitheodoridis., C. Roukos. 2008. Seasonal variation of chemical composition and dry matter digestibility of rangelands in NW Greece. *J Centr Eur Agric*. 9:547-556.
- Murgueitio, E.R., Rosales, M.M., Gómez M.E. 1999. Agroforestería para la Producción Animal Sostenible. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) Cali. 67p.
- NOM-021-SEMARNAT 2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos, estudio muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación.
- Norton, B.W. 1981. Differences between species in forage quality. En: Hacker, J.B. (Edit.). *Nutritional Limits to Animal Production*. Proc. Int Symp. St. Lucia, Queensland, Australia. CAB, UK. 110 p.
- Nyhagen, D. F., C. Kragelund, J.M. Olesen, C.G. Jones. 2001. Insular interactions between lizards and flowers: flower visitation by an endemic Mauritian gecko. *J Trop Ecol*. 17(05): 755-761.
- Ochoa-Hueso, R., R.R. Hernandez, J.J. Pueyo, E. Manrique. 2011. Spatial distribution and physiology of biological soil crusts from semi-arid central Spain are related to soil chemistry and shrub cover. *Soil Biol Bioch*. 43:1894-1901.
- Parlak, A.O., A. Gokkus, B.H. Hakyemez, H. Baytekin. 2011. Forage quality of deciduous woody and herbaceous species throughout a year in mediterranean shrublands of western Turkey. *J Animal Plant Sci*. 21(3): 513-518.
- Parlak, A.O., A. Gokkus, B.H. Hakyemez, H. Baytekin. 2011. Shrub yield and forage quality in Mediterranean shrublands of West Turkey for a period of one year. *African J Agr Res*. 6(7): 1726-1734.

- Parra-Tabla, V., C.M. Herrera. 2010. Spatially inconsistent direct and indirect effects of herbivory on floral traits and pollination success in a tropical shrub. *Oikos*, 119(8): 1344-1354.
- Pärtel, M. 2002. Local plant diversity patterns and evolutionary history at the regional scale. *Ecology*. 83:2361-2366.
- Petit-Aldana, J., Suniaga-Quijada, J. 2005. Sistemas Silvopastoriles. En: González-Stagnaro, C., Soto-Belloso E. (Eds.). Manual de Ganadería doble Propósito. Ediciones Astro Data, S.A. Maracaibo-Venezuela. 719 p.
- Pezo, D., Ibrahim, M. 1998. Sistemas silvopastoriles. Módulos de Enseñanza Agroforestal No. 2. Colección Módulos de Enseñanza Agroforestal. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 258 p.
- Ponzetti, J.M., B.P. McCune. 2001. Biotic soil crusts of Oregon's shrub steppe: community composition in relation to soil chemistry, climate and livestock activity. *Bryologist* 104: 212-225.
- Poveda, K., I. Steffan-Dewenter., S. Scheu., T. Tschardtke. 2003. Effects of below-and above-ground herbivores on plant growth, flower visitation and seed set. *Oecologia*. 135(4): 601-605.
- Pugnaire, F., P. Hasse, J. Puig de Fábregas. 1996. Facilitation between higher plant species in a semiarid environment. *Ecology*. 77: 1420-1426.
- Ramírez, L.R.G., R. Foroughbackhch, H. González-Rodríguez, C.G. García-Castillo, J. Alba-Ávila, L.A. Háud. 2002. Variación estacional del contenido mineral en el zacate buffel común (*Cenchrus ciliaris* L.). *Livest Res Rural Dev* (serie en línea). Disponible en URL: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/2/rami142.htm>. Consultado el 5 de enero de 2016.
- Ramírez, L.R.G., G.F.W Haenlein., C.G. García., M.A. Núñez. 2004. Protein, lignin and mineral contents and in situ dry matter digestibility of native Mexican grasses consumed by range goats. *Small Ruminant Res*. 52:261-269.
- Ramírez, R.G., M.A. Núñez-González. 2006. Chemical composition, digestion and mineral content of native forbs consumed by range sheep. *J of Anim and Vet Adv*. 5:1158-1164.

- Ramírez-Lozano, G.R. 2009. *Nutrición de rumiantes*. Editorial Trillas. Segunda edición. México, D.F. 314p.
- Ramírez-Orduña, R., G. Ramírez, H. González-Rodríguez, G.F.W. Haenlein. 2005. Mineral content of browse species from Baja California Sur, México. *Small Ruminant Res.* 57:1-10.
- Ramírez-Orduña, R., R.G. Ramírez., E. Romero-Vadillo., H. González-Rodríguez., J.A. Armenta-Quintana., R. Avalos-Castro. 2008. Diet and nutrition of range goats on a sarcocaulous shrubland from Baja California Sur, Mexico. *Small Ruminant Res.* 76(3):166-176.
- Ramírez-Orduña, R., R.G. Ramírez., M.M. Gómez., J.A. Armenta-Quintana., J.M. Ramírez-Orduña., R. Cepeda-Palacios., J.A. Ávila-Sandoval. 2003. Seasonal dynamics of ruminal crude protein digestion of browse species from Baja California Sur, México. *Interciencia.* 28:408-414.
- Ramírez-Orduña, R., R.G. Ramírez., J.M. Ramírez-Orduña., R. Cepeda-Palacios., J.M. Ávila-Sandoval. 1998. Seasonal variation in nutrient content of shrubs from Baja California Sur, Mexico. *Forest Farm and Community Tree Research Reports.* 3:13-16.
- Ramírez-Silva, J.H. 2009. Comparación de la concentración mineral en forrajes y suelos de zonas ganaderas del estado de Quintana Roo, México. *Vet Méx.* 40(2):167-179.
- Rao, I. M., M.A. Ayarza., R.J. Thomas., M.J. Fisher., J.L. Sanz., J.M. Spain., C.E. Lascano. 1992. Soil-plant factors and processes affecting productivity in ley farming. In: *Pastures for the tropical lowlands*. CIAT's contribution. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 145-175.
- Reich, P.B., J. Oleksyn. 2004. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. *Proc Nat Acad Sci.* 101:11001-11006.
- Reid, R.L., G.A. Jung., W.V. Thyne. 1988. Relationships between nutritive quality and fiber components of cool season and warm season forages: a retrospective study *J Anim Sci.* 66:1275.
- Ríos, N., H. Andrade, M. Ibrahim. 2008. Evaluación de la recarga hídrica en sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos. *Zootecnia Tropical.* 26:183-186.

- Rodríguez-Baltodano, F.M. 2010. Efecto de los árboles dispersos sobre las características del suelo en sistemas silvopastoriles en Rivas, Nicaragua. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 77 p.
- Rojas-Garcidueñas, M. 1993. Fisiología vegetal aplicada. 4a. Ed. Mc. Graw-Hill. Mexico. 276 p.
- Romero-Méndez, U., E. Castellanos-Pérez., J.J. Martínez-Ríos., R. Figueroa-Viramontes., C.G. De la Peña. 2013. Efecto del sobrepastoreo sobre las costra biológica en el Norte de México: Un análisis bibliográfico. *Agrofaz*. 13 (1):87-90.
- Rooney, T. P., D.M. Waller. 2003. Direct and indirect effects of white-tailed deer in forest ecosystems. *Forest Ecol Manag*. 181(1):165-176.
- Rostagno, C.M., F.F Valle., L. Videla. 1991. The influence of shrubs on some chemical and physical properties of an aridic soil in north-esatern Patagonia, Argentina. *J Arid Environ*. 20:179-188.
- Russell, F. L., D. B. Zippin., N. L. Fowler. 2001. Effects of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) on plants, plant population and communities: a review. *Am Midl Nat*. 146:1-26.
- Rzedowski, J., 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa. México, D.F. 431 p.
- Sadeghian, S., J.M. Rivera., M.E. Gómez. 1998. Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. En: Sánchez, M.D., Rosales-Méndez, M. (Edit.). *Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica*. Edit. Food and Agriculture Organization (FAO). Estudio FAO Producción y Salud Animal No. 143. Roma, Italia. 515 p.
- Sánchez, C.S., L.G. Crespo., C.M. Hernández., O.Y. García. 2008. Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* en un sistema silvopastoril asociado con *Leucaena leucocephala*. *Zootecnia Tropical*. 26:269-273.
- Sánchez, R.C., R.G. Agustín., C. Raya. 1997. Contenido mineral en suelo, forraje y suero sanguíneo de vacas Holstein en pastoreo en Acatlán, Hidalgo, México. *Arch Latinoam Prod Anim*. 1:108-111.

- Sazima, I., C. Sazima., M. Sazima. 2005. Little dragons prefer flowers to maidens: a lizard that laps nectar and pollinates trees. *Biota Neotropica*. 5(1): 185-192.
- Schroth, G., J. Lehmann., E. Barrios. 2003. Soil nutrient availability and acidity. Chapter 5. CABI Publising. 437 p.
- Simón, L., M. Hernández., F. Reyes., S. Sánchez. 2005. Efecto de las leguminosas arbóreas en el suelo y en la productividad de los cultivos acompañantes. *Pastos y Forrajes*. 28:1-17.
- Skarpe, C., I. Jansson., L. Seljeli., R. Bergstrom., E. Roskaft. 2007. Browsing by goats on three spatial scales in a semi-arid savanna. *J Arid Environ*. 68: 480-491.
- Snyder, K. A., S.L. Tartowski. 2006. Multi-scale temporal variation in water availability: implications for vegetation dynamics in arid and semi-arid ecosystems. *J Arid Environ*. 65(2): 219-234.
- Steel, G.D.R., Torrie, J.H. 1995. Bioestadística. Principios y procedimientos. Editorial McGraw Hill. México. 92 p.
- Topps, J.H. 1992. Potential, composition and use of legume shrubs and trees as fodders for livestock in the tropics. *J Agric Sci Camb*. 118: 1-8.
- Toyes-Vargas, E.A., B. Murillo-Amador., J.L. Espinoza-Villavicencio., L. Carreón-Palau., A. Palacios-Espinosa. 2013. Composición química y precursores de ácidos vaccénico y ruménico en especies forrajeras en Baja California Sur, México. *Rev Mex Cienc Pecu*. 4(3): 373-386.
- Turner, R.M., Bowers, J.E., Burgess, T.L. 1995. Plantas del Desierto Sonorense. Atlas Ecológico. Universidad de Arizona. 501p.
- Van Soest, P. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2d. Edition. Cornell University Press. Ithaca and London. 479 p.
- Van Soest, P. J., Robertson, J.B. 1985. Analysis of forages and fibrous foods. Laboratory Manual for Animal Science 613. Cornell University, Ithaca, New York, U.S.A. 202 p.
- Van Soest, P.J. 1982. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2d. ed., O & B Books, Inc., Corvallis, Oregon, U.S.A. 374 p.

- Van Soest, P.J., D.R. Mertens., B. Deinum. 1978. Preharvest factors influencing quality of conserved forages. *J Anim Sci.* 47: 712.
- Vázquez-Piqué J., R.A. Monge, R. Benavides Calvo, D. Martín Pérez, C. López-Carrasco, R. Macías Fernández, M^a.A. González-Pérez, S. Mutke Regneri, S. Roig Gómez. 2012. Influencia del clima y la humedad de suelo en la fenología del crecimiento secundario de encina (*Quercus ilex* L. subsp. *Ballota* [desf.] Samp.) en un gradiente climático peninsular. *Cuad Soc Esp Cienc For.* 35: 125-133.
- Velderrain-Alcaraz, L.A., J.L. León de la Luz, Y. Maya-Delgado. 2010. Estructura de la vegetación en montículos de la bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Polibotánica.* 29:67-90.
- Vitousek, P.M., H. Farrington. 1997. Nutrient limitation and soil development: experimental test of a biogeochemical theory. *Biogeochemistry.* 37: 63-75.
- Vivas-Maya, F.E., J.G. Rosado-Rubio, A.F. Castellanos-Ruelas, M. Heredia, E.J. Cabrera-Torres. 2011. Contenido mineral de forrajes en predios de ovinocultores del estado de Yucatán. *Rev Mex Pecu.* 2(4):465-475.
- Woodward, F.I. 1987. *Climate and Plant Distribution.* Cambridge University Press. 177 p.
- Yayneshet, T., L.O. Eik., S.R. Moe. 2008. Influences of fallow age and season on the foraging behavior and diet selection pattern of goats (*Capra hircus* L.). *Small Ruminant Res.* 77(1): 25-37.

12. ANEXOS

12.1. Análisis de variables físico-químicas del suelo

Determinación de calcio soluble en suelo

Pre-tratamiento

- a. Recepción y registro.
Al llegar las muestras al laboratorio deberán registrarse en la bitácora y el laboratorio asignará un número de registro a cada muestra para facilidad del manejo interno.
- b. Secado.
En caso que las muestras estén húmedas proceda al secado al ambiente a temperatura < 35.0 °C y una humedad relativa entre 30.0 y 70.0 %, utilice una cantidad aproximada de 500.0 g de suelo en una charola de plástico o en papel aluminio y extienda la muestra hasta obtener aproximadamente un espesor no mayor de 2.0 cm y verifique el secado hasta que la muestra no se adhiera en el recipiente.
- c. Molienda.
En caso que la muestra presente grumos o terrones, realice la molienda con un mazo de caucho.
- d. Tamizado.
El suelo molido se hace pasar por un tamiz con aberturas de 2.0 mm de diámetro (malla 10) de acero inoxidable. Este grado de fineza es conveniente para la mayoría de los análisis requeridos con el propósito de diagnosticar la fertilidad de un suelo.
- e. Homogeneizado.
El homogeneizado puede lograrse utilizando bolsas de plástico (pueden ser la misma donde estaban originalmente las muestras), haciendo girar la muestra en todas direcciones.

Análisis de Calcio soluble

- a. Pesar en tubo de plástico o frasco 10.0 g o 100.0 g de muestra seca de suelo en la balanza electrónica, en el caso de las compostas secas pesar 50,0 g y en los lixiviados líquidos utilizar 5.0 ml y diluirlos con agua desionizada a 125,0 ml relación 1:5
- b. Pesar 10,0 g de suelo de referencia (AG-1) como control 2 y procesar igual que la muestra a analizar el pH.
- c. Adicionar 20.0 ml o 200.0 ml de agua desionizada al recipiente que contiene la muestra problema (suelo o control) siempre conservando la proporcionalidad de 1:2., en el caso de las compostas adicionar 250.0 ml en relación 1:5
- d. Filtrar la solución en papel Whatman no. 42.
- e. Se coloca un alícuota de 10.0 mL del extracto acuoso en un matraz Erlenmeyer de 125.0 ml. Se diluye a un volumen aproximado de 50.0 ml.
- f. Se agrega Hidróxido de Sodio aproximadamente 6.0 N hasta ajustar un pH de 13.0 a 13.5

- g. Adicione aproximadamente 50 mg Indicador de púrpura de Amonio.
- h. Titular con EDTA al 0.01 N con bureta de 25.0 mL. El cambio de color es de rojo a púrpura. Cuando se está próximo al cambio de vire, se debe agregar una gota del reactivo EDTA al 0.01 N cada 5 a 10 segundos, ya que el cambio de color no es instantáneo.

1. Cálculos

m.eq. por litro de (Ca + Mg) = (ml de solución de EDTA × normalidad de la solución del EDTA × 1,000)/ ml de alícuota.

Ca + Mg mg/100 g= (m.eq. por litro de (Ca + Mg) x 20.04 /10*D

Ca mg/kg = (Ca- Mg mg/100 g)= (Ca mg/100 g) x 10

Dilución =D (1:2 o 1:5).

Determinación de Magnesio soluble en suelo

Pre-tratamiento

- a. Recepción y registro.
Al llegar las muestras al laboratorio deberán registrarse en la bitácora y el laboratorio asignará un número de registro a cada muestra para facilidad del manejo interno.
- b. Secado.
En caso que las muestras estén húmedas proceda al secado al ambiente a temperatura < 35.0 °C y una humedad relativa entre 30,0 y 70,0 %, utilice una cantidad aproximada de 500,0 g de suelo en una charola de plástico o en papel aluminio y extienda la muestra hasta obtener aproximadamente un espesor no mayor de 2,0 cm y verifique el secado hasta que la muestra no se adhiera en el recipiente.
- c. Molienda.
En caso que la muestra presente grumos o terrones, realice la molienda con un mazo de caucho.
- d. Tamizado.
El suelo molido se hace pasar por un tamiz con aberturas de 2,0 mm de diámetro (malla 10) de acero inoxidable. Este grado de fineza es conveniente para la mayoría de los análisis requeridos con el propósito de diagnosticar la fertilidad de un suelo.
- e. Homogeneizado.
El homogeneizado puede lograrse utilizando bolsas de plástico (pueden ser la misma donde estaban originalmente las muestras), haciendo girar la muestra en todas direcciones.

Análisis de Magnesio soluble

- i. Pesar en tubo de plástico o frasco 10.0 g o 100.0 g de muestra seca de suelo en la balanza electrónica, en el caso de las compostas secas pesar 50,0 g y en los lixiviados líquidos utilizar 5,0 ml y diluirlos con agua desionizada a 125,0 ml relación 1:5
- j. Pesar 10.0 g de suelo de referencia (AG-1) como control 2 y procesar igual que la muestra a analizar el pH.
- k. Adicionar 20.0 ml o 200,0 ml de agua desionizada al recipiente que contiene la muestra problema (suelo o control) siempre conservando la proporcionalidad de 1:2, en el caso de las compostas adicionar 250.0 ml en relación 1:5.

- l. Se filtra la muestra con papel filtro Whatman No. 42.
 - m. Se coloca un alícuota de 10.0 ml del extracto acuoso en un matraz Erlenmeyer de 125.0 mL. Se diluye a un volumen aproximado de 50.0 mL.
 - n. Se agrega solución amortiguada de Cloruro de Amonio e Hidróxido de Amonio. hasta ajustar un pH de 10,0 a 10,5.
 - o. Adicione Indicador Eriocromo Negro T de 3 a 4 gotas
 - p. Titular con EDTA al 0.01 N con bureta de 25,0 ml. El cambio de color es de rojo vino a azul o verde. No debe observarse tinte rojizo al llegar al punto Terminal.
1. Cálculos
- m.eq. por litro de (Ca + Mg) = (ml de solución de EDTA × normalidad de la solución del EDTA × 1,000)/ ml de alícuota.
- Ca + Mg mg/100 g =(m.eq. por litro de (Ca + Mg)- meq por litro Ca) x 12.156/10*D
- Mg mg/kg = (Ca + Mg mg/100 g) x 10
- D= dilución 1:2 ó 1:5

Determinación de tamaño de partículas con el autoanalizador laser Horiba

- a. Las muestras se reciben y se anotan en la bitácora de recepción de muestras y se codifican.
- b. Se colocan 5 g de muestra en un vaso de precipitado de 100 ml.
- c. Se adicionan 15 a 20 ml de hexametafosfato de sodio al 0.2 %
- d. Se coloca en agitación durante 15 minutos para que se dispersen las partículas y se eliminen los grumos.
- e. Se enciende el equipo Horiba (autoanalizador laser de distribución de tamaño de partículas).
- f. Se selecciona la refractancia para cuerpos opacos.
- g. Se suministra agua, se alinea el sistema óptico con el uso del software.
- h. Se blanquea las lecturas de láser y de las dos lámparas.
- i. Para verificar el equipo que realiza correctas mediciones se corren 3 estándares certificados a 300 nm, 600 nm y 1.0 um.
- j. Verificado el equipo su correcto funcionamiento y cumple las medidas de calidad en medición de tamaño de partículas.
- k. El equipo se limpia las veces necesarias con suministros de agua automáticamente hasta limpiar el sistema de medición.
- l. Se suministra la muestra de 0.5 mg a 1.0 g problema hasta el rango color verde, que tiene establecido el equipo y luego se corre.
- m. El equipo tarda 1 minuto en lectura y limpieza.
- n. Seleccione las lecturas con sus correspondientes tamaño en um (micras) y se envía a una hoja de Excel.

Determinación de pH en suelo

- a. Pesar en tubo de plástico o frasco 10.0 g o 100.0 g de muestra seca de suelo o sedimentos marinos en la balanza electrónica, en el caso de las compostas secas pesar 50,0 g y en los lixiviados líquidos utilizar 5.0 mL y diluirlos con agua desionizada a 125.0 ml relación 1:5

- b. Pesar 10.0 g de suelo de referencia (AG-1) como control 2 y procesar igual que la muestra a analizar el pH.
- c. Adicionar 20.0 ml o 200.0 ml de agua desionizada al recipiente que contiene la muestra problema (suelo o control) siempre conservando la proporcionalidad de 1:2, en el caso de las compostas adicionar 250.0 ml en relación 1:5.
- d. Agitar manualmente la mezcla de suelo, composta o lixiviado - agua durante 30 min o utilizar el agitador orbital 30 min a 120 ciclos.
- e. Al finalizar la agitación, dejar reposar durante 15 min.
- f. Ajustar el medidor de pH con las soluciones de Material de Referencia Certificado del CENAM de 4.00 y 6.86 o 6.86 y 9.19 según la alcalinidad o acidez de la(s) muestra(s).
- g. Realice las verificaciones con una solución comercial o una solución preparada con sales del CENAM a determinado pH (Control 1 según sea el caso del rango a medir), utilizando una solución a pH 4,00 o 6,86 y determine mediante gráficos de exactitud si procede o suspender la prueba y además, determine mediante gráficos de exactitud el control 2 (suelo AG-1) si procede o suspende la prueba.
- h. Limpie los electrodos con agua desionizada antes de iniciar las lecturas de las muestras problemas.
- i. Utilice un kleenex para secarlo.
- j. Transcurrido los 15 minutos de reposo, agite nuevamente la suspensión e introduzca el electrodo del medidor de pH en la muestra problema y el sensor de temperatura.
- k. Registre el valor de pH al momento de que la lectura se ha estabilizado.
- l. Limpie de nuevo el electrodo con agua desionizada.
- m. Seque el electrodo con Kleenex.

1. Cálculos

Registrar 3 lecturas de pH con dos cifras decimales.

El método de calibración del dispositivo de determinación del pH de la forma siguiente:

"Sistema calibrado con dos patrones operacionales:

pH (control 1) .. pH (control 2)

Indicar en el reporte si la relación fue 1:2 o 1:5.

Determinación de conductividad eléctrica en suelo (CE)

- a. Pesar en tubo de plástico o frasco 10.0 g o 100.0 g de muestra seca de suelo en la balanza electrónica, en el caso de las compostas secas pesar 50.0 g y en los lixiviados líquidos utilizar 5.0 ml y diluirlos con agua desionizada a 125.0 ml relación 1:5
- b. Pesar 10.0 g de suelo de referencia (AG-1) como control 2 y procesar igual que la muestra a analizar el pH.
- c. Adicionar 20.0 mL o 200.0 mL de agua desionizada al recipiente que contiene la muestra problema (suelo o control) siempre conservando la proporcionalidad de 1:2., en el caso de las compostas adicionar 250.0 ml en relación 1:5.
- d. Agitar manualmente la mezcla de suelo - agua a intervalos de 5 minutos durante 30 minutos o utilizar el agitador orbital 30 min a 120 ciclos.

- e. Encender el equipo de medición de conductividad eléctrica (HACH sension5).
- f. Esperar a que se estabilice el equipo (stabilizing.).
- g. Introduzca la celda (electrodo) en la solución de trazabilidad de acuerdo a lo que va a requerir, por ejemplo 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ o 1410 $\mu\text{S}/\text{cm}$ colocándola a temperatura aproximada a los 25 °C.
- h. Presionar la tecla cal de (calibración), y seleccionar el rango de calibración de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ o 18 mS/cm para una solución estándar trazable de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ desplazándose con las flechas hacia arriba o abajo y oprimir enter. O teclear el rango (? Stándar) de 1410 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para una solución estándar trazable de 1410 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y oprimir enter.
- i. Obtenga de la hoja del certificado de la solución trazable el valor de conductividad requerido a la temperatura indicada en la pantalla del equipo y anote el valor de conductividad correspondiente.
- j. Verificar la calibración del equipo realizando medición a una solución caducada como referencia y compararlo con el valor de solución estándar trazable (control 1).
- k. Limpie el electrodo del conductivímetro con agua desionizada y seque con un Kleenex o papel higiénico suave.
- l. Las muestras antes de leer deben ser temporizadas, a temperaturas aproximadas a los 25 ° C y posteriormente, introduzca el electrodo en la solución problema.
- m. Espere hasta que aparezca el valor de la conductividad eléctrica obtenida en la pantalla.
- n. Registre los datos en la bitácora.
- o. Limpie el electrodo con suficiente agua desionizada.
- p. Seque el electrodo con kleenex y colóquelo en el equipo.
- q. Si requiere otras lecturas de soluciones problemas, inicie desde el punto k de la determinación de conductividad eléctrica.
- r. Apagar el equipo.

1. Cálculos

Sí los datos se requieren reportar en dS/m

$$\text{dS/m} = (\mu\text{S}/\text{cm}) / 1000$$

Indicar en el reporte sí la relación muestra: agua fue 1:2 o 1:5.

Determinación de Fósforo en suelo

Pretratamiento de la muestra:

- a. Recepción y registro.

Al llegar las muestras al laboratorio deberán registrarse en la bitácora y el laboratorio asignará un número de registro a cada muestra, registro que conviene se realice con números seriados, para facilidad del manejo interno.

- b. Secado.

En caso que la muestra esté húmeda proceda al secado al ambiente a temperatura $< 35^\circ$ C y una humedad relativa entre 30.0 y 70.0 %, utilice una cantidad aproximada de 200.0 g de suelo en una charola de plástico o en papel aluminio y extienda la muestra hasta obtener aproximadamente un espesor no mayor de 2.0 cm y verifique el secado hasta que la muestra no se adhiera en el recipiente.

c. Molienda.

En caso que la muestra presente grumos o terrones, realice la molienda con un mazo de caucho.

d. Tamizado.

El suelo molido se hace pasar por un tamiz con aberturas de 2.0 mm de diámetro (malla 10) de acero inoxidable.

e. Homogeneizado.

El homogeneizado puede lograrse utilizando bolsas de plástico (pueden ser las mismas donde estaban originalmente las muestras), haciendo girar la muestra en todas direcciones.

Extracción:

Si va a realizar análisis de fósforo total vea el anexo I.

a. La extracción de fósforo soluble en agua desionizada se detalla a continuación:

- Utilizar un extracto a 1:2 cuando se requieran determinar varios parámetros al extracto acuoso de la muestra problema, vea el procedimiento utilice las alícuotas requeridas y continúe con el análisis colorimétrico, en el punto b de este procedimiento.
- Preparación de la solución P total cuando solo se requiere digerir la muestra.

Digestión de suelo para fósforo total.

Pesar 0.5 g de suelo o mineral colocar en un matraz Erlenmeyer de 125 mL y adicionarle 10 mL de ácido nítrico y 15 mL de ácido perclórico y se coloca en la parrilla de calentamiento hasta que los humos de color rojo y amarillo desaparezcan y solo salgan humos blanco.

Se prepara solución de 2, 4, 6, 8, 10 ppm P acidificado con 0.1 mL Ácido nítrico por cada 50 mL de estándar y el blanco también y se continúa con el paso de análisis colorimétrico.

b. Rotular cada tubo con la clave o número de la muestra correspondiente.

c. Pesar 10.0 g de la muestra seca en tubo de plástico con tapa de 50 mL.

d. Con una pipeta volumétrica adicionar 20.0 mL de agua bidestilada y agitar.

e. Si no se perciben las 2 fases de separación lodo - solución clarificada, colocar el tubo de plástico de 50.0 mL en una centrifuga a 6000 r.p.m. durante 5 minutos y filtrar la solución clarificada en papel wathman no. 42.

f. En un tubo de plástico de 50.0 mL con tapa, transferir el sobrenadante (extracto acuoso de la muestra problema).

g. Puede utilizar el extracto acuoso para diferentes procedimientos realizando alícuotas de la misma muestra.

Nota: si no realiza el análisis inmediatamente conserve el extracto acuoso en refrigeración a 4°C.

h. Si aparece una coloración amarillenta en la solución problema muestra, elimine el color con carbón activado, utilice un tubo de 2 mL eppendor y adicione 1 mL de la solución problema y coloque una pizca de carbón activado, agite en vortex durante 5 segundos y centrifugue a 6000 rpm durante 2 minutos, hasta que la coloración sea transparente y sin coloración.

Análisis colorimétrico:

a. Prepara la curva estándar de fósforo en la microplaca directamente.

No. tubo	Solución de KHPO ₄ mg/L de P	Volumen de la solución Estándar KHPO ₄ o blanco	Agua bidestilada	Solución del Reactivo de metavanadato de amonio
0 (blanco)	0.0	40.0 uL	120.0 uL	40.0 uL
1	2.0	40.0 uL	120.0 uL	40.0 uL
2	4.0	40.0 uL	120.0 uL	40.0 uL
3	6.0	40.0 uL	120.0 uL	40.0 uL
4	8.0	40.0 uL	120.0 uL	40.0 uL
5	10.0	40.0 uL	120.0 uL	40.0 uL

b. Al preparar las diluciones de la tabla anterior, prepare la micro placa de 96 pozos con la curva estándar.

- Para la preparación de la curva estándar con su blanco en la micro placa. Se deben seleccionar 18 pozos de la micro placa de 96 pozos para preparar la curva de calibración con 6 puntos, requiriendo 15 pozos para la curva estándar; y 3 pozos para el blanco, adicionar el contenido de cada tubo (de acuerdo a la preparación de la tabla anterior, adicione la cantidad de uL por pozo).
- Para la preparación de la muestras en la micro placa. Realice lo siguiente en la micro placa.

c. Adicionar la cantidad de 120 uL de agua desionizada en todos los pozos que se van a utilizar. Posteriormente, adicione 40.0 uL de blanco, estándares y muestras problemas, con el micro pipeta de 100.0 uL (extracto líquido).

d. Agitar.

e. Adicionar 40,0 uL de solución d de Metavanadato perclórico de amonio.

f. Agitar e incubar a temperatura ambiente durante 10 minutos. El color obtenido es estable por 2 horas.

g. Leer las absorbancias en un lector de micro placa a una longitud de onda de 405 nm.

1. Cálculos

Preparar la curva con la solución estándar y elabore la ecuación lineal dividir la concentración entre 5 (factor de dilución de la concentración), para obtener la pendiente (m) y punto de inserción en el eje y (b) y determine la regresión lineal $r^2 > 0.98$.

$$Y = mX + b$$

Dónde:

m es la pendiente;

b es la ordenada al origen;

Y es la absorbancia,

X es la concentración (P mg /L).

En caso de realizar dilución de la muestra a lo largo del desarrollo del método, utilizar la siguiente ecuación:

$$P \text{ mg /L} = \text{concentración} \times 5$$

Para: $P_{\text{soluble}} \text{ mg/kg} = P \text{ mg/L} * 2 \times \text{factor de dilución}$

Para: $P_{\text{total}} = (P \text{ mg/L} * \text{factor de dilución}) / \text{g de muestra}$

Determinación de materia orgánica

1. Procedimiento

1.1. Pretratamiento

a. Recepción y registro.

Al llegar las muestras al laboratorio deberán registrarse en la bitácora y el laboratorio asignará un número de registro a cada muestra, registro que conviene se realice con números seriados, para facilidad del manejo interno.

b. Secado.

En caso que las muestras estén húmedas proceda al secado al ambiente a temperatura $< 35.0^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa entre 30.0 y 70.0 %. La finalidad del secado de la muestra es mejorar la homogeneidad y disminuir los cambios químicos indeseables, seca la muestra se puede preservar hasta 6 meses, una vez adicionado los reactivos se realiza el análisis el mismo día, solo en caso de contener $>20\%$ de Materia orgánica la preservación seca es 30 días la muestra.

c. Molienda.

En caso que la muestra presente grumos o terrones, realice la molienda con un mazo de caucho.

d. Tamizado.

El suelo se hace pasar por un tamiz con aberturas de 0,5 mm de diámetro (malla 35) de acero inoxidable. Este grado de fineza es conveniente para la mayoría de los análisis requeridos con el propósito de diagnosticar la fertilidad de un suelo.

e. Homogeneizado.

El homogeneizado puede lograrse utilizando bolsas de plástico (pueden ser la misma donde estaba originalmente la muestra), haciendo girar la muestra en todas direcciones.

1.2. Análisis químico

a. Prepare las muestras, por triplicado los blancos (blanco1, blanco2 y blanco3), muestras control reactivo y una muestra de MRC.

b. Pesar 0,5 g de suelo seco o si al añadir el dicromato de potasio al suelo la solución se torna verdosa o si se gastan menos de dos ml de sulfato ferroso al titular la muestra, se debe reducir el peso de la muestra a la mitad, en caso de compostas pesar 0,1 g y transferir a un matraz erlenmeyer de 500.0 mL, y simultáneamente prepare 3 blancos, un testigo (un matraz sin muestra) y 2 controles de calidad, el control de calidad CC01 (con MRC 0.5 g de AG-01 ó AG-2 ó 0.1 g de CP-01) y CC02 (1 mL de glucosa a 2.68 % de materia orgánica), por lote de muestras.

c. Utilice la campana de extracción de ácidos y adicione a cada matraz erlenmeyer con muestra y al testigo, la cantidad de 10 mL de dicromato de potasio de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ al 1,0 N solución del laboratorio. Para determinar la normalidad exacta del sulfato ferroso heptahidratado se siguen los mismos pasos del procedimiento para los blancos utilizando dicromato de potasio 1.0 N (material primario $>99.98\%$ de pureza), pero sin adicionar muestra.

d. Agregar cuidadosamente con una bureta 20.0 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado con 1,25 % de sulfato de plata (Ag_2SO_4) para suelos salinos y agitar durante 1 minuto muy suavemente.

- e. Dejar reposar en la campana de extracción durante 30 minutos sobre una superficie de madera y evite corriente de aire, mesas de acero o concreto. Después agregar 200.0 mL de agua con un matraz volumétrico de 200.0 mL clase A.
- f. Agregar 5 mL de ácido fosfórico concentrado.
- g. Agregar de 5 a 10 gotas del indicador Difenilamina.
- h. Titular con sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0,5 N gota a gota hasta el vire de color verde claro.
- i. Anote el volumen gastado de sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) al 0,5 N en las muestra(s) problema(s), 3 blancos, el testigo y en las muestras de Control de Calidad CC01 y CC02.

2. Cálculos

Advertencia! La Normalidad del sulfato ferroso heptahidratado varía, por lo que hay que determinar su Normalidad en cada lote de análisis de materia orgánica, obtener un promedio de los 3 blancos con los mL gastados de sulfato ferroso heptahidratado, el blanco utilizado es un dicromato de potasio preparado con una sal primaria de >99,98 % en pureza.

$$(N_1)(V_1) = (N_2)(V_2) \quad \therefore \quad N_2 = (N_1)(V_1) / V_2$$

Donde:

N_2 = Normalidad del $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$

V_2 = Volumen $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ gastado al titular los blancos

N_1 = Normalidad $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ de alta pureza >99,98% al 1N

V_1 = volumen de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ que se utiliza para la técnica

El porcentaje de materia orgánica se calcula con la siguiente fórmula:

$$(B - T)$$

$$\text{Materia orgánica en \%} = \frac{(B - T)}{P} \times 100 \quad (N_2) (0,6724) \quad P$$

En donde:

B = Volumen de solución de sulfato ferroso para valorar el blanco de reactivo (testigo).

N_2 = Normalidad de la solución de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ primario.

Normalidad exacta de la solución de sulfato ferroso heptahidratado (valorar por separado utilizando 3 blancos al momento de analizar las muestras).

T = Volumen de solución del sulfato ferroso gastado en la titulación de la muestra (mL).

P = Peso de la muestra empleada en g.

$$1,724$$

$K = 0,6724 = 0,003 \frac{1,724}{0,77} \times 100,0$; en donde:

$$0,77$$

0,003 = Mili equivalente del carbono.

0,77 = Factor de recuperación.

1,724 = Factor para convertir el % de carbono en % de materia orgánica

12.2. Análisis químico proximal de muestras vegetales

Determinación de humedad

Todos los alimentos, incluyendo los deshidratados, contienen cierta cantidad de agua, de ahí la importancia de determinar con precisión en qué cantidad se encuentra presente, ya que el agua es un factor determinante en la inhibición o propagación de las diferentes reacciones químicas, enzimáticas o microbiológicas que pueden aumentar o reducir el valor nutritivo y la calidad de los alimentos (Badui, 1986). Para determinar humedad existen varios métodos aplicables de acuerdo al tipo de muestra y a la infraestructura y equipo con que se cuenta. Comúnmente se utilizan dos métodos:

- Pérdida de peso (que es el más usado)
- Por destilación (Dean-Stark, utilizando la trampa bidwell-starling) que se utiliza para productos termolábiles.

Método de pérdida de peso

Materiales y reactivos:

Cápsula o crisol de porcelana

Sílica-gel

Balanza analítica

Estufa Thermolyne Serie 9000

Desecador Nalgene

Campana de extracción de humos

Crisol de porcelana

Pinzas para crisol

Procedimiento:

- Pesar con exactitud 2 g de muestra en una cápsula o crisol de porcelana, previamente puesta a peso constante, extendiendo la muestra en una capa lo más fina posible sobre la base de la cápsula o crisol.
- Colocar la cápsula y su contenido en una estufa a 105 °C y desecar durante 4 horas.
- Retirar la cápsula de la estufa y dejar enfriar en un desecador durante 40 minutos.
- Pesar la muestra seca en balanza analítica

Cálculos:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso crisol + muestra húmeda} - \text{Peso crisol + muestra seca}}{\text{Peso muestra húmeda}} \times 100$$

Determinación de cenizas

Se denomina ceniza al residuo fijo, seco que queda después de calentar una muestra biológica a 550°C en mufla. La fracción de ceniza representa el material mineral contenido en el material biológico. Durante la incineración se eliminan, por combustión, todas las sustancias orgánicas contenidas en el alimento, y al final queda un material de coloración gris o blanca, dependiendo de la naturaleza de la muestra.

Incineración en mufla

Materiales y reactivos:

Cápsula o crisol de porcelana

Sílica-gel

Balanza analítica

Estufa Thermolyne serie 9000
 Desecador
 Campana de extracción de humos
 Crisol de porcelana
 Pinzas para crisol

Procedimiento:

1. Pesar 2 g de muestra sólida (puede utilizarse el material residual de la determinación de humedad) y colocarla en un crisol o cápsula de porcelana previamente puesta a peso constante a 600°C / 5 hrs.
2. Incinerar en mufla a 600°C (Para quemar completamente al carbón) durante 5 h.
5. Retirar la cápsula, colocarla durante 40 min en la estufa a 100 °C y luego enfriar en un desecador durante 40 min.
6. Pesar.

Cálculos:

$$\text{Cenizas} = \frac{\text{Peso crisol con cenizas} - \text{Peso crisol vacío}}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

Determinación de proteína por el método de Dumas

Método de combustión directa (Dumas, aprobado por la AOAC, 2005)

Jean Baptiste Dumas, químico y político francés, fue quien desarrollo la determinación de Nitrógeno a partir del ataque de una muestra mezclándola y calentándola con óxido de cobre en una atmósfera de dióxido de carbono (co₂). Los gases emanados de aquella combustión se reducían en cobre y el nitrógeno molecular era luego determinado volumétricamente. La empresa leco® corporation (michigan, usa), adoptó este método y lo automatizó sacando al mercado su modelo fp-528 liderando en la actualidad la fabricación de instrumentos para la determinación de n₂/proteína.

Materiales y reactivos:

Balanza analítica cooper sticks
 Papel de estaño oxido de magnesio
 Pinzas pellets de oxide de alumina
 Gradilla para la muestra tq. Oxigeno alta pureza
 Equipo leco fp528 tq. Helio alta pureza
 Tq. Aire comprimido

Procedimiento:

A_ pesada

La muestra es pesada (200 mg)

B_ ciclo de análisis

1. Purga

A) la muestra pesada y envuelta en papel de estaño (tin foil) es colocada en el cabezal de carga y purgada de cualquier gas atmosférico que hubiera ingresado en el proceso de preparación de la misma.

B) paralelamente el recipiente que colecta los gases de la combustión ballast® (sistema patentado por leco®), también es purgado.

2. Combustión

A) la muestra ingresa al horno calentado a 850 °C aproximadamente y gas oxígeno puro es ingresado para acelerar el proceso de combustión.

B) los productos de la combustión son principalmente: CO_2 , H_2O , NO_x , N_2 .

C) dichos gases son pasados a través de un filtro en el horno y por un enfriador termoeléctrico, para quitar la humedad. Luego son recolectados en el ballast®

3. Análisis

A) los gases obtenidos en la combustión son homogeneizados en el ballast® a través de una mezcla pasiva.

B) una alícuota de 3cc de muestra homogénea es capturada y el ballast® es forzado a evacuarse.

C) la muestra gaseosa de 3cc pasa a través de cobre para remover el O_2 y reducir los NO_x a N_2 .

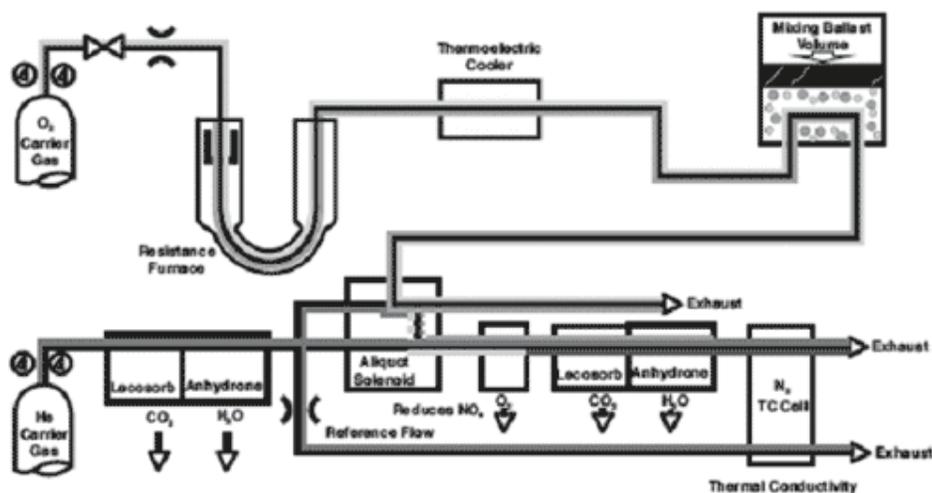
D) la muestra continua su recorrido dentro del equipo pasando ahora por lecosorb® para remover el CO_2 y por anhidrone para retener el H_2O .

E) finalmente el N_2 arrastrado por una corriente de gas helio hacia una celda de conductividad térmica (tc) en donde se mide la concentración de N_2 presente en la muestra.

C) informe del resultado

El resultado final, expresado en N_2 o $\text{N}_2/\text{proteína}$, es mostrado en la computadora o el display según el modelo de equipo.

En el siguiente esquema se observa el diagrama de flujo de gases de los equipos leco®



En la práctica, todo el procedimiento anteriormente detallado se reduce a:

Pesar la muestra

Colocarla en el horno de combustión

Presionar el botón start

En menos de cuatro minutos el resultado será mostrado en la pantalla o transmitido a la red de Datos.

Determinación de lípidos (Extracto etéreo)

Los lípidos, también conocidos como "grasas". Son un grupo muy grande de compuestos orgánicos que tienen la característica, entre otras, de ser muy solubles en solventes no polares, tales como éter, benceno, cloroformo, acetona, hexano, etc., y bastante insolubles en agua. No hay reacción química específica alguna para todo el grupo de los lípidos, por lo que la forma más común de determinarlos consiste en extraerlos cuantitativamente del material en que se encuentran, y precisamente como vehículo extractor se emplea a solventes no polares. El contenido de lípidos en los ingredientes alimenticios es usualmente determinado por extracción con solventes como éter de petróleo (AOAC, 1980; MAFF, 1981). Otros solventes que también han sido usados en la extracción de lípidos incluyen cloroformo:metanol (Bligh y Dyer, 1959; Folch et al., 1957).

1. Método de SOXTEC Avanti

Este método consiste en un aparato de reflujo, el cual consta de refrigerante, además de un depósito (dentro del cual se coloca la muestra dentro de un dedal de celulosa), y de vasos de aluminio donde se recolectan los lípidos extraídos. El sistema está montado sobre una parrilla de calentamiento, lo que permite que el solvente en el vaso se evapore, mismo que se condensa al pasar por el refrigerante y cae sobre la muestra en el depósito, y una vez que el nivel del éter llega a su punto máximo el depósito se vacía hacia el vaso, con lo que inicia otro ciclo de extracción, mismo que se repite hasta el final del tiempo determinado. La eficiencia de este método depende del pretratamiento de la muestra y la selección del disolvente.

Materiales y reactivos:

Balanza analítica	Eter de petróleo
Pinzas	Papel filtro Whatman No. 1 (Cat. No. 1001 110)
Desecador Nalgene	
Estufa Thermolyne	
Cartucho de celulosa Whatman (Cat. No. 2800258)	
Campana extracción de humos	
Placas de cristalización	
Aparato SOXTEC Avanti	

Procedimiento:

- 1) Antes de iniciar primeramente se abre la llave del agua.
- 2) Se enciende el panel de control e inmediatamente el programador. (el equipo dará una lectura que corresponde al último programa que se utilizó, si se desea cambiar el programa oprimimos la tecla (+) o (-) según se requiera.
- 3) Seleccionamos nuestro programa.
- 4) Previamente se tienen a peso constante los vasos de aluminio que se requieren para la determinación
- 5) Manejando el cartucho con pinzas, se pesa la muestra utilizando balanza analítica
- 6) Tomas cada cartucho y lo colocas en la gradilla, colocándolos manualmente en el aparato

- 7) Se suben dentro del aparato oprimiendo la tecla de flechas
- 8) Utilizando pinzas o guantes se colocan los vasos de aluminio con 80 ml. de éter de petróleo
- 9) Se oprime la tecla de temperatura y cuando se iguala la temperatura de la parrilla con la del programa elegido, se oprime la tecla de inicio.
- 10) En este momento se inicia el programa que tiene una duración de 70 min. Que se dividen en 15 minutos de inmersión, 40 minutos de goteo del solvente, 10 de recuperación del solvente, y 5 minutos de presecado
- 11) En este momento que termina el programa la pantalla del master control vuelve a inicio.
- 12) Se oprime la tecla de flechas para subir los cartuchos.
- 13) Se retiran los vasos del equipo y se colocan en la campana durante 5 /10 min. (con la finalidad de que se evapore el solvente remanente).
- 14) Se oprime la tecla de flechas para bajar los cartuchos y se colocan en la gradilla para ponerlos a secar a 103° C / 1 hr.
- 15) Se toman con pinzas cada uno de los vasos y se ponen en la estufa a 103 °C / 2 hrs.
- 16) Utilizando pinzas se sacan los vasos de la estufa y se colocan en el desecador 30 min. para que enfríen.
- 17) Se pesan.
- 18) Por diferencia de peso y aplicando la fórmula encontramos el porcentaje de lípidos que tiene la muestra.

Nota: Esto en caso de que esta misma muestra se utilice también para determinar Fibra cruda, en caso de no ser así, se puede trabajar hasta con 0.5 g de muestra.

Cálculos:

$$\text{Extracto etéreo} = \frac{\text{Peso del vaso} + \text{lípidos extraídos} - \text{Peso del vaso vacío}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

Determinación de fibra cruda

Varias técnicas químicas están disponibles para la estimación de carbohidratos en alimentos vegetales y animales. El método más comúnmente empleado divide a los carbohidratos en dos fracciones, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno (ELN). La fibra cruda es el residuo orgánico insoluble, remanente después de extraer un material libre de grasa con ácido y álcali diluidos, bajo condiciones controladas. La fibra cruda es generalmente considerada como el componente carbohidrato no digerible de un determinado ingrediente o dieta. Entre los alimentos de origen vegetal, la fibra cruda se compone principalmente de varias porciones de celulosa, hemicelulosa y lignina (esta última no es un carbohidrato, sino un compuesto aromático complejo), mientras que en productos animales, la fibra cruda se compone de varias proporciones de glucanos, mananos y aminoazúcares.

Hidrólisis sucesiva

Materiales y reactivos:

Sistema de extracción para fibra

FIBERTEC M6

Crisoles de vidrio 30 ml.

Bomba de vacío

Placa de calentamiento

Ac. sulfúrico al 1.25%

Octanol

Agua destilada

Hidróxido de sodio 1.25%

Vaso de precipitado 600 ml.

Bomba manual para lavados
 Estufa Thermolyne Serie 9000
 Mufla

Alcohol etílico

Procedimiento:

- 1) Pesar 2 g de muestra, previamente desengrasada, en el crisol de extracción. Se puede utilizar lo que queda después de desengrasar la muestra en el Soxtec).
- 2) Colocar con cuidado los crisoles en el equipo FIBERTEC bajar la palanca para embonar los crisoles con el refrigerante y colocar cada una de las palancas individuales en **CLOSED**
- 3) Calentar a ebullición el H₂SO₄ al 1.25 % (0.255 N) y agregarle con ayuda del embudo 150 ml a cada crisol y 5 gotas de octanol (antiespumante)
- 4) Prender el equipo y colocar la perilla de control de temperatura en **6**. Verificar que este conectada la bomba de recirculación de agua. Cuando este hirviendo se baja la perilla de control de temperatura a 4 y dejar hervir por 30 minutos.
- 5) Bajar la temperatura a cero (0) conectar la bomba de vacío y colocar la primera palanca en Filtrado. Inmediatamente iniciar el filtrado con el primer crisol y asid continuar con el siguiente hasta completar los 6 crisoles
- 6) Enjuagar ahí mismo con agua destilada caliente, hacer 3 lavados con 50 ml de agua cada lavado, con la bomba manual se toman los 50 ml y se adicionan en cada crisol, se conecta la bomba de vacío y se filtra. Este paso se repite 3 veces hasta completar los lavados
- 7) Calentar a ebullición el NaOH 1.25 % (0.255 N) y agregarle, con ayuda del embudo, 150 ml a cada crisol y 5 gotas de octanol (antiespumante). Se repite lo señalado en los pasos 4, 5 y 6.
- 8) Posteriormente a los lavados con agua destilada hirviendo, se hace un lavado con 50 ml. de alcohol, se conecta la bomba de vacío y se filtra.
- 9) Se apaga el equipo las palancas se regresan a REST. Se coloca la base de crisoles y se levanta la palanca para separar los crisoles del equipo.
- 10) Se ponen los crisoles a secar en la estufa a 130° C por 2 horas
- 11) Se dejan enfriar 20 min en el desecador, y se pesan los crisoles
- 12) Se ponen los crisoles en la mufla a 520° C por 30 min.
- 13) Se pasan los crisoles a la estufa a 130° C por 20 min.
- 14) Se dejan enfriar 20 min. en el desecador, y se pesan los crisoles.

Cálculos:

$$\% \text{ Fibra Cruda} = \frac{(\text{Pcs} - \text{Pcc})}{m} \times 100$$

% Fibra cruda = a

Pcs= Peso en gramos del crisol a 130°C

Pcc= Peso en gramos del crisol más cenizas

M= Peso en gramos de la muestra

Nota: Para conocer el valor real del % de fibra cruda en la muestra es necesario conocer:

% lípidos de la muestra

% humedad de la muestra,

Se suman estos valores, se hace una diferencia a 100, y este se toma como valor "B" para hacer la corrección mediante una ecuación comúnmente llamada regla de 3.

$$\begin{array}{l} A \text{ ----- } 100 \\ x \text{ ----- } B \end{array} \quad x = \text{valor corregido de fibra cruda}$$

Extracto libre de nitrógeno

El extracto libre de nitrógeno (E.L.N.) es una medida indirecta de los carbohidratos "solubles" o "digeribles" presentes en el alimento. Se obtiene mediante la sumatoria de los valores porcentuales determinados para la humedad, proteína cruda, lípidos (extracto etéreo), fibra cruda y ceniza, y substrayendo el total de 100. Es necesario hacer notar que la inclusión o no en esta sumatoria del porcentaje de humedad, dependerá de cómo se quiere expresar el resultado, esto es, si se quiere expresar el ELN en base seca no se tomará en cuenta a la humedad, y los porcentajes de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda y cenizas, deberán estar también expresados en base seca. En alimentos basados en vegetales, esta fracción se compone principalmente de azúcares libres, almidón y otros carbohidratos digeribles.

Cálculos:

$$\text{E.L.N.} = 100 - (\% \text{ Proteína} + \% \text{ Extracto etéreo} + \% \text{ Fibra cruda} + \% \text{ Cenizas})$$

Determinación de energía bruta

Calorímetro adiabático automático

Los organismos vivos requieren un suministro constante de energía, ya que es bien sabido que cuando un organismo vivo está efectuando algún tipo de trabajo (metabólico) implica un gasto de energía, lo cual se puede manifestar hacia el exterior como calor, movimiento, etc. Los organismos vivos pueden utilizar la energía química potencial contenida en las moléculas biológicas (en general, las de origen orgánico y algunas pocas inorgánicas), al romper los enlaces que unen sus componentes, así como invertir este proceso para poder almacenarla, es decir, unir mediante enlaces químicos moléculas pequeñas para formar moléculas grandes. De este modo, cualquier material formado por moléculas biológicas constituye un almacén de energía potencial para los seres vivos. Para determinar el contenido calórico de un material se usa un calorímetro adiabático, el cual mide la energía o calor involucrado en reacciones químicas, y en este caso se trata de medir el calor que desprenden las sustancias biológicas al quemarse completamente (reacción química de oxidación o combustión) al ser "oxidadas por el oxígeno", lo cual semeja al proceso que siguen los seres vivos sobre los alimentos para poder obtener de ellos la energía que contengan.

Materiales y reactivos:

Calorímetro adiabático PARR	Agua destilada
Tanque con oxígeno	Rojo de metilo
Molino de café	Metanol
Pastillador	Carbonato de sodio 0.0725 N
Balanza analítica	
Pinzas	
Cápsula inoxidable Parr	
Alambre de fusión PARR (No. 45C10)	
Preparación de la muestra:	

Moler la muestra en un molino de cuchillas con criba de 1 mm. El tamaño de la muestra debe ser tal que no contenga más de 8,000 calorías. Generalmente la muestra es de más o menos 1 gr. (pastilla). La pastilla se tiene que poner en la estufa por un tiempo mínimo de 12 hrs a 70°C.

Manejo del Calorímetro Adiabático PARR

1. Al iniciar el trabajo con el calorímetro hay que cerciorarse de que al conectarlo a la corriente, se conecten también la bomba de recirculación y el enfriador. Inmediatamente el calorímetro ya encendido muestra la temperatura en ese momento; hay que pulsar la tecla F1, se escucha un sonido de cambio, y aparece ON. En este momento hay que esperar aproximadamente ½ h. Para empezar a trabajar con él. En este tiempo se puede colocar la cubeta con los 2 litros de agua destilada dentro de la chaqueta del calorímetro.

2. La muestra pastillada y seca se pesa sobre el crisol de acero inoxidable. Tanto la muestra como el crisol deberán manejarse con pinzas, cuidando de no tocar con los dedos estos objetos. Es importante mencionar que los crisoles nuevos deberán meterse a la mufla durante 4 horas a 480°C para que se les forme una ligera capa de óxido, el cual cataliza la combustión de la muestra. Este procedimiento deberá repetirse cuando llegue a tocarse el crisol con los dedos ó cuando pierda su capa de óxido debido a que se hubiera tallado para su limpieza. El peso de la muestra deberá de ser de alrededor de 1 g, aunque se obtienen buenos resultados con muestras de hasta 0.25 g (coeficiente de variación en 10 muestras igual a ± 0.5 %), pero con muestras de 0.1 g, que es la cantidad mínima que puede ser quemada en la bomba calorimétrica, la exactitud no disminuye demasiado (coeficiente de variación = 2.0 % en 10 muestras). Jamás deberán colocarse muestras de más de 1.5 g en materiales desconocidos se recomienda hacer las pesadas no muy por encima de 1 g.

3. Se atan las puntas de un trozo de alambre de níquel-cromo de 10 cm de longitud a los extremos horadados de los electrodos de la cabeza de la bomba calorimétrica. Enseguida se coloca con mucho cuidado el crisol con la pastilla de muestra sobre el soporte que forman los propios electrodos, procurando que este quede ligeramente inclinado; después se acomoda el alambre, ayudándose con unas pinzas, de tal modo que este (alambre) toque ligeramente a la muestra.

Cuidadosamente se coloca la cabeza de la bomba sobre el cilindro de la misma, al que se le han puesto 0.5 mL de agua destilada en su interior (secuestrante de los productos de la combustión); se desliza suavemente la cabeza al interior del cilindro hasta que tope; a continuación se coloca el empaque de hule, el aro metálico y la tapa, la cual se atornilla firmemente con la mano.

Cuidadosamente se coloca la bomba sobre las pinzas sujetadoras de mesa, y se cierra la válvula de escape de la misma. Se conecta el cople terminal de la manguera del tanque de oxígeno a la válvula admisoras de oxígeno de la bomba. Se abre la llave del tanque de oxígeno tan solo un cuarto de vuelta con lo que el manómetro chico del tanque (el que tiene el letrero de OXYGEN) indicará la presión que hay en tanque; en este momento se presiona la tecla FILL O2. Muy lentamente se abre la llave de paso negra con lo que la aguja del manómetro grande (el que tiene el letrero ATMOSPHERES) comenzará a moverse; con la llave de paso se controla la velocidad de llenado de la bomba calorimétrica de tal modo que este sea muy lento y tarde al menos 1 minuto hasta llegar a 30 - 35 atmósferas (jamás deberá excederse la presión de 40 atmósferas). Al momento que se haya llenado la bomba calorimétrica con la

cantidad de oxígeno, el calorímetro avisa mediante un sonido. Se cierra la llave de paso negra firmemente y luego la del tanque de oxígeno; se libera la presión residual en la manguera empujando hacia abajo la palanca negra colocada justo abajo de la llave de paso del mismo color. A continuación se separa el cople de la válvula de llenado de oxígeno. Se toma la bomba calorimétrica con las pinzas sujetadoras y se coloca dentro de la cubeta, con la ayuda de las pinzas sujetadoras.

6.- Llenado de la cubeta y colocación dentro del Calorímetro. La cubeta de la bomba calorimétrica se llena con exactamente $2,000 \pm 0.5$ gramos de agua destilada (preferentemente deberá usarse siempre el mismo instrumento de medida) y se coloca dentro de la "chaqueta" del calorímetro. Después se sumerge, dentro del agua de la cubeta, la bomba calorimétrica usando las pinzas especiales y escurriéndolas bien después de quitarlas para no extraer agua. A continuación se conectan los electrodos del calorímetro en la cabeza de la bomba ayudándose con unas pinzas.

7. Cerrado del Calorímetro. Se cierra el calorímetro y en el teclado se presiona la tecla START, en este momento el calorímetro automáticamente te va a solicitar los datos de tu muestra y va aparecer en la pantalla CAL ID se le presiona la tecla 1 (este número se refiere al número de cubeta) se da ENTER y te aparecerá el número que le corresponde a tu muestra, le vuelves a presionar la tecla ENTER y te pedirá el peso de tu pastilla; le vuelves a presionar la tecla ENTER y el calorímetro inmediatamente iniciará poniéndose en pantalla un aviso de pre periodo, aproximadamente en 5 minutos el calorímetro avisará mediante un sonido de "bip, bip, bip" el momento de la ignición y pasará al pos periodo, donde tardará aproximadamente 5 a 10 m en volver a sonar, dando fin a la determinación y apareciendo en pantalla la cantidad de cal/g de la muestra.

8.- Se abre el calorímetro, se desconectan los electrodos, y con las pinzas sujetadoras se saca la bomba calorimétrica. Se escurre el agua de la bomba y se quita con papel absorbente que se encuentra en los orificios de las válvulas de la cabeza. Muy lentamente se abre la válvula de escape de la cabeza para liberar la presión residual del interior de la bomba, de tal modo que no tome menos de 1 minuto la salida de los gases.

9. Después de haber liberado toda la presión, se desatornilla y quita la tapa, el anillo metálico y el empaque de hule. Se jala suavemente hacia afuera la cabeza de la bomba hasta poco más arriba de la mitad de los electrodos y con unas pinzas se quita el crisol metálico, en el cual solo deberá haber cenizas, si la combustión fue completa. Con una piceta de agua destilada se enjuaga el interior de la cabeza de la bomba y los electrodos, recogiendo los líquidos dentro del propio cilindro, para posteriormente transferirlos a un vaso de precipitado, enjuagando 3 veces el cilindro con agua destilada.

10. Se coloca la cabeza de la bomba sobre el soporte y se le quitan los pedazos de alambre de níquel-cromo que quedaron después de la combustión; cuidadosamente se estiran y se mide su longitud la cual se resta de la longitud total de alambre que se puso al principio (10 cm), lo que nos dará la cantidad de alambre quemado (c3).

11. Los líquidos de lavado de las partes de la bomba calorimétrica se titulan (los cuales tienen ácido) con solución carbonato de sodio 0.725 N usando naranja de metilo como indicador. Se toma la lectura.

12. En el calorímetro se presiona las teclas DONE REPEAT y solicita el número de la muestra. Se le da ENTER y pide la cantidad de alambre quemado; nuevamente ENTER para la cantidad de alcali gastado se le vuelve a presionar la tecla de ENTER, aparece el número de

muestra y presionando la tecla DONE hasta que aparece en pantalla FINAL. En este momento la cantidad que aparece son las calorías corregidas ya con el valor de del alambre quemado en la combustión y lo que se gastó de alcali y este es el valor que se reporta.

12.3. Análisis de fibras en muestras vegetales

Fibra Detergente Neutro (FDN)

Este procedimiento se llevó a cabo en un equipo ANKOM²⁰⁰⁰ Automated Fiber Analyzer de acuerdo a las indicaciones del fabricante (ANKOM, 2005). Una vez que las muestras fueron molidas en una criba de 1 mm, se procedió a numerar las bolsas filtroras de la misma marca, pudiéndose procesar hasta un máximo de 24 bolsas (2 repeticiones por cada muestra) por cada digestión, así como un blanco (bolsa sin muestra) para utilizarse como factor de corrección. Se registra el peso de cada bolsa (W1), el peso de la muestra (W2) y el peso del blanco (C1). El peso de cada muestra por bolsa fue de aproximadamente 0.5 g (± 0.05 g), y posteriormente fueron selladas con calor por el borde de manera doble para garantizar el sellado. Las bolsas fueron puestas en un dispositivo de plástico, introduciendo tres bolsas por nivel. Para procesar las 24 bolsas se agregaron 2000 ml de solución de Detergente Neutro dentro del vaso de digestión del equipo, así como 4 ml de la alfa amilasa termoestable durante la digestión y 20 g de sulfito de sodio. Se cierra la válvula del equipo de manera hermética y se lleva a cabo la digestión por un lapso de 90 minutos a una temperatura promedio de 100 °C y 16 PSI. Una vez que se termina el proceso de digestión y que se drena de manera automática el residuo de la misma, se inicia el proceso de 4 ciclos de lavado de las bolsas, adicionándose a cada uno 2000 ml de agua destilada a una temperatura de 70 a 90 °C, siendo únicamente los dos primeros con 4 ml de alfa amilasa. Al termino de dicho ciclo se extraen las bolsas del digestor y se elimina el exceso de agua de las mismas, para posteriormente lavarlas con acetona por inmersión durante 3 minutos, y una vez que se remueve el exceso de ésta, se procede a secar las bolsas a temperatura ambiente, y finalmente para completar el secado se mete a una estufa a 105 °C durante 12 horas y se pesan las bolsas (W3). La FDN se estimó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ FDN (base húmeda)} = 100 \times (W3 - (W1 \times C1)) / W2$$

ANKOM, 2015. Neutral detergent fiber in feeds. Filter bag technique (ANKOM2000). Ankom Technology.

Fibra Detergente Ácido (FDA)

El procedimiento de digestión se llevó a cabo de manera secuencial, por lo que una vez que se tomó el registro del último peso de las bolsas en la FDN, las bolsas fueron puestas de nuevo en el dispositivo de plástico, introduciendo tres bolsas por nivel. Para procesar las 24 bolsas se agregaron únicamente 2000 ml de solución de Detergente Ácido dentro del vaso de digestión del equipo. Se cierra la válvula del equipo de manera hermética y se lleva a cabo la digestión por un lapso de 90 minutos a una temperatura promedio de 100 °C y 16 PSI. Una vez que se termina el proceso de digestión y que se drena de manera

automática el residuo de la misma, se inicia el proceso de 3 ciclos de lavado de las bolsas, adicionándose a cada uno 2000 ml de agua destilada a una temperatura de 70 a 90 °C. Al termino de dicho ciclo se extraen las bolsas del digestor y se elimina el exceso de agua de las mismas, para posteriormente lavarlas con acetona por inmersión durante 3 minutos, y una vez que se remueve el exceso de ésta, se procede a secar las bolsas a temperatura ambiente, y finalmente para completar el secado se mete a una estufa a 105 °C durante 12 horas y se pesan las bolsas (W3). La FDN se estimó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ FDA (base húmeda)} = 100 \times (W3 - (W1 \times C1)) / W2$$

ANKOM, 2015. Acid detergent fiber in feeds. Filter bag technique (ANKOM200). Ankom Technology.

Lignina Detergente Ácido (LDA)

El procedimiento de digestión se llevó a cabo de manera secuencial, por lo que una vez que se tomó el registro del último peso de las bolsas en la FDA, todas éstas se colocan en forma de abanico en el fondo de un vaso de precipitado de 1 lt y se agregó suficiente cantidad (aproximadamente 250 ml) de H₂SO₄ al 72 % (p/v). Se introduce un vaso de 500 ml dentro del vaso de 1 lt para que las muestras queden sumergidas en el ácido sulfúrico y con la ayuda de éste se agita 30 veces cada 30 minutos presionando con el vaso de precipitado de 500 ml. Después de tres horas se remueve el ácido sulfúrico y se enjuaga las bolsas con agua para remover los restos del ácido para posteriormente lavarlas con acetona por inmersión durante 3 minutos, y una vez que se remueve el exceso de ésta, se procede a secar las bolsas a temperatura ambiente, y finalmente para completar el secado se mete a una estufa a 105 °C durante 12 horas y se pesan las bolsas (W3). La LDA se estimó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ LDA (base húmeda)} = (W3 - (W1 \times C1)) \times 100 / W2$$