RESUMEN

El follaje de *Acacia wrightii* Benth., *Bumelia celastrina* H.B.K., *Castela texana* T. & G. Rose, *Forestiera angustifolia* Torr., *Karwinskia humboldtiana* (R. & S.) Zucc., *Larrea tridentata* DC., *Schaefferia cuneifolia* Gray. y *Zanthoxylum fagara* (L.) Sarg., fue evaluado para determinar el contenido de materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), celulosa, hemicelulosa, lignina, taninos, cenizas, cenizas insolubles, energía bruta (EB), macro y microminerales, degradabilidad efectiva de MS, degradabilidad efectiva de PC y degradabilidad efectiva de FDN; durante las cuatro estaciones de 1999, utilizándose como forraje de referencia el heno de *Medicago sativa* L. (alfalfa). El follaje de las especies evaluadas se colectó en forma aleatoria, durante las cuatro estaciones del año de 1999, en tres sitios localizados en los municipios de Hualahuises, Carmen y Mina, del estado de Nuevo León, México. En la mayoría de las especies arbustivas evaluadas, el contenido de nutrientes varió en forma significativa durante las cuatro estaciones del año. El contenido de taninos (un factor antinutrimental) en las especies evaluadas, fue más alto en invierno y otoño. La DEMS, de *F. angustifolia* (72.3%) y *Z. fagara* (68.1%), fueron superiores a *M. sativa* (67.6%); mientras que la de *C. texana* (62.2%), *L. tridentata* (61.5%), *S. cuneifolia* (60.5%), *K. humboldtiana* (60.4%) y *A. wrightii* (56.0%), fueron inferiores. La DEPC de *S. cuneifolia* (82.5%), *C. texana* (73.1%), *Z. fagara* (72.8%) y *A. wrightii* (72.1%), fue superior o compatible a la mostrada por *M. sativa* (75.1%). Solamente *F. angustifolia* (61.3%) y *K. humboldtiana* (54.2%) tuvieron niveles superiores de DEFDN que el de *M. sativa* (53.7%), mientras que el resto de las arbustivas presentó niveles inferiores. Durante las cuatro estaciones, la mayoría de las arbustivas tuvieron un contenido de Ca, Mg, K, Cu, Mn, Fe y Zn acorde con los requerimientos nutricionales de las cabras, sin embargo fueron deficientes en P y Na. Por tener una DEPC superior o muy cercana a la mostrada por *M. sativa* (75.1%), se considera que el follaje de *S. cuneifolia* (82.5%), *C. texana* (73.1%), *Z. fagara* (72.8%) y *A. wrightii* (72.1%), puede utilizarse como un buen suplemento proteico, tanto para rumiantes en pastoreo como para animales de vida silvestre, sobre todo durante la escasez de forraje en época de estiaje.

SUMMARY

The foliage of *Acacia wrightii* Benth., *Bumelia celastrina* H.B.K., *Castela texana* T. & G. Rose, *Forestiera angustifolia* Torr., *Karwinskia humboldtiana* (R. & S.) Zucc., *Larrea tridentata* DC., *Schaefferia cuneifolia* Gray. and *Zanthoxylum fagara* (L.) Sarg., were evaluated to determine the content of dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), cellulose. hemicellulose, lignin, tannins, ash, insoluble ash, gross energy (BE), macro and microminerals, effective degradability of DM, effective degradability of CP and effective degradability of NDF; during the four stations of 1999, using as a reference forage *Medicago sativa* L. hay (alfalfa). The foliage of the evaluated species was collected in aleatory form, during the four stations of the year of 1999, in three places located in the cunties of Hualahuises, Carmen and Mina, of the state of Nuevo León, México. In most of the species evaluated, the nutrient content varied significantly during the four stations of the year. The content of tannins (an antinutrimental factor) in the evaluated species, was higher in winter and autumn. The EDDM, of *F. angustifolia* (72.3%) and *Z. fagara* (68.1%), were superior to *M. sativa* (67.6%); while that *C. texana* (62.2%), *L. tridentata* (61.5%), *S. cuneifolia* (60.5%). *K. humboldtiana* (60.4%) and *A. wrightii* (56.0%), were inferior. The EDCP of *S. cuneifolia* (82.5%), *C. texana* (73.1%), *Z. fagara* (72.8%) and *A. wrightii* (72.1%), were superior or compatible to *M. sativa* (75.1%). *Forestiera angustifolia* (61.3%) and *K. humboldtiana* (54.2%) had superior levels EDNDF to *M. sativa* (53.7%), while the rest of the shrubs presented inferior levels. During the four seasons, most of the shrubs had a content of Ca, Mg, K, Cu, Mn, Fe and Zn according with the nutritional requirements of the goats; however were deficient in P and Na. To have a superior or very near EDCP to the shown by *M. sativa* (75.1%), it is considered that the foliage of *S. cuneifolia* (82.5%), *C. texana* (73.1%), *Z. fagara* (72.8%) and *A. wrightii* (72.1%), can be used as a good supplement proteinous, so much for ruminant in shepherding like for animals of wild life, mainly during the forage shortage in low water time.

I. INTRODUCCIÓN

En el norte, oeste y centro del estado de Nuevo León la distribución del clima y suelo no es uniforme, debido a que en el norte el clima es seco, con una precipitación media anual que varía de 300 a 700 mm, la temperatura media mensual varía de 14°C en invierno a 30°C en verano y el suelo es principalmente arcilloso; en el oeste el clima es muy seco con una precipitación media anual de 200 a 400 mm, con una temperatura media mensual que varía de 13°C en invierno a 29°C en verano y con suelos someros de tipo litosol; en el centro del estado, el clima es semicálido con una precipitación media anual que varía de 600 a 1000 mm, la temperatura media mensual varía de 15°C en invierno a 29°C en verano y el suelo presenta una capa superficial pobre en humus con un subsuelo que puede contener arcilla, cal o caliche. Esta irregular distribución del clima y suelo ha ocasionado que a lo largo del tiempo en este lugar se hubiesen formado varios tipos de matorrales, los cuales son también producto de la existencia de microclimas y factores ecológicos muy particulares presentes en la zona.

Especies arbustivas como *Acacia rigidula* (chaparro prieto), *Prosopis glandulosa* (mezquite), *Cordia boissieri* (anacahuita), *Pithecellobium pallens* (tenaza), *Acacia farnesiana* (huizache), *Forestiera angustifolia* (panalero), *Celtis pallida* (granjeno), *Leucophyllum frutescens* (cenizo), *Porlieria angustifolia* (guayacán), *Cercidium macrum* (palo verde) y *Acacia berlandieri* (huajillo), generalmente forman parte de las especies dominantes de algunos de los tipos vegetativos propios de esta zona, las cuales a su vez son consideradas como una fuente importante de alimento tanto para rumiantes en pastoreo como para animales de vida silvestre.

Las características de clima y suelo hacen que esta región sea más propicia para el desarrollo de la ganadería, donde las especies nativas del matorral juegan un papel muy importante como fuente de alimento, utilizando los bovinos y ovinos principalmente las gramíneas y en menor grado la vegetación herbácea y arbustiva, mientras que el ganado caprino utiliza principalmente la vegetación herbácea y en mayor grado el estrato arbustivo.

La ventaja de utilizar el estrato arbustivo como fuente de alimento radica en que las especies arbustivas presentan hojas durante la mayor parte del año, en cambio las hierbas y zacates de los pastizales son fuente importante de forraje solo en las temporadas de lluvia.

Las cabras tienen mayor tendencia al ramoneo que las ovejas y bovinos, principalmente porque tienen una mayor facilidad para digerir la fibra, su talla pequeña les permite desplazarse en el matorral, por sus características anatómicas tienen mayor facilidad para tomar las hojas, frutos, talluelos y flores de arbustivas espinosas; pueden inhibir mejor la acción de los taninos, su palatabilidad está adaptada para consumir una amplia variedad de plantas y pueden recorrer las distancias que se necesiten de acuerdo a la frecuencia con que se presenten las plantas que utiliza del agostadero.

El conocimiento de la composición botánica de la dieta seleccionada por las cabras, relacionándola a la vez con los análisis bromatológicos, pruebas de digestibilidad y el grado de preferencia de las especies que utilizan del pastizal, son importantes tanto para conocer la calidad de la dieta como para decidir un manejo adecuado tanto de las cabras como de las especies vegetales que utilizan en su dieta, con el propósito de lograr una mayor producción animal y poder enfrentar con mayor éxito la demanda creciente de alimentos de nuestra población.

Los cambios que ocurren en el valor nutritivo, digestibilidad y disponibilidad de especies forrajeras de los agostaderos durante el año, suelen estar ligados principalmente a cambios de precipitación y temperatura, por lo que el conocimiento de estos fenómenos son muy importantes para implementar programas de suplementación para solucionar problemas de alimentación.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto en el presente trabajo se plantea la hipótesis de que las condiciones edafoclimáticas extremas características del noreste de México, influyen directamente sobre las especies nativas para producir cambios en su valor nutritivo y en su digestibilidad durante las cuatro estaciones del año, afectando de esta manera la disponibilidad de forraje y nutrientes durante las temporadas críticas del año.

Dentro del trabajo de investigación y a fin de profundizar en el conocimiento de especies arbustivas nativas de Nuevo León, se plantearon los siguientes objetivos:

General

Evaluar el potencial nutricional de ocho especies de plantas del noreste de México, a través de estudios sobre el perfil nutricional y de cinética ruminal, con el propósito de incorporarlas a los sistemas de alimentación de rumiantes en pastoreo.

Específicos

a) *Estimar y comparar el perfil nutritivo de las especies sujetas a investigación* durante las cuatro estaciones del año.
b) Estimar y comparar los valores de degradabilidad ruminal potencial y efectiva del follaje de las especies arbustivas seleccionadas, durante las cuatro estaciones del año.
c) Correlacionar los valores del perfil nutritivo con los valores de degradabilidad ruminal potencial y efectiva del follaje de las especies seleccionadas en este estudio.

II. ANTECEDENTES

Importancia de árboles y arbustos en la dieta de los rumiantes

El número de arbustos y árboles con potencial forrajero en países en desarrollo es muy grande; sin embargo, pocas especies han sido incorporadas dentro de los sistemas de alimentación de rumiantes en pastoreo. Asimismo, el valor nutritivo de estos arbustos y árboles también es muy grande en la mayoría de los sistemas extensivos de las regiones áridas y semiáridas, en los cuales el ramoneo en las dietas de pequeños rumiantes es muy importante, donde esto último en cabras y venado cola blanca (*Odocoileus virginianus, texanus*), puede representar más del 50% de sus dietas (Ramírez, 2000). Asimismo, el valor nutritivo de un forraje es determinado por su composición química y digestibilidad, pero la composición química es determinada por la naturaleza de la planta (Buxton y Fales, 1994).

Reportes científicos relacionados con el valor nutritivo del ramoneo sugieren, que en general, las hojas de arbustos y árboles contienen niveles de calcio y proteína cruda más altos que muchos forrajes comerciales (Blair, 1990). Sin embargo, algunos arbustos contienen altos niveles de compuestos antinutrimentales (Ramírez, 1999). En regiones tropicales de América, se ha encontrado que los árboles y arbustos forrajeros generalmente contienen el doble o más de proteína cruda que los pastos y en numerosos casos el contenido energético también es superior, por lo que se puede elevar la calidad nutritiva de las dietas basadas en pastos. Cuando el follaje de estos árboles y arbustos se ha incluido en dietas de cabras se ha visto incrementado significativamente la ganancia en peso y la producción de leche de estos animales. También se ha observado que en época de sequía, los árboles y arbustos de estas regiones pueden producir cantidades adecuadas de forraje con lo que se puede contrarrestar la disminución brusca de producción de pasto y de este modo lograr que el ganado pueda aliviar la escasez de alimento (Benavides, 1991).

El tipo de dieta y la cantidad consumida de alimento por las cabras están determinados principalmente por la variedad de especies de plantas presentes y su relativa abundancia; en climas calientes con estación fría, las hierbas y gramíneas son consumidas en gran

proporción durante el otoño y principios de invierno (después de las lluvias que ocurren al final del verano) reduciendo el ramoneo. *Durante las épocas secas, las cabras aumentan el* consumo de arbustivas debido a que la vegetación herbácea se encuentra en período de latencia (Ramírez, 1989). En climas fríos, las hierbas y gramíneas se encuentran en letargo desde el final del otoño hasta principios de primavera. Bajo estas condiciones, las hierbas son importantes y la dieta aumenta con las especies arbustivas (Dietz y Cook, 1972).

En Uganda se ha estudiado el comportamiento de las cabras en apacentamientos del este de Africa y se ha observado que consumen únicamente una pequeña porción del pastizal, en comparación con árboles y arbustos. También se ha observado que más de la mitad del tiempo usado en el ramoneo fue para consumir hojas y ramas tiernas de árboles y arbustos en *desarrollo, notando que la preferencia de las cabras son los retoños* suculentos que se encuentran casi en la parte superior de las plantas (Wilson, 1957).

La selección de pastizales por parte de los animales domésticos, varía según la clase de animal y el tipo de forraje que más se adapta a sus necesidades, por este motivo las cabras son *principalmente ubicadas en los pastizales toscos, prefiriendo plantas arbustivas* y consumiendo aproximadamente 60% de ellas en su dieta, y correspondiendo el 40% de ella al consumo de zacates y hierbas, los cuales selecciona cuando están disponibles; en cambio los bovinos y ovejas consumen un 10% de arbustivas en su dieta y los caballos un 6% (Bell y Lawn, 1957).

Ramírez (1989) en un estudio relacionado con la composición botánica de la dieta seleccionada por las cabras, pastoreando en un matorral mediano subperennifolio en el municipio de Marín, ha reportado que dicha dieta estuvo constituida principalmente por arbustos (81%) y en menor grado por hierbas (12.3%) y zacates (6.7%). En otros estudios efectuados sobre las dietas de las cabras; Arbiza, *(1986) encontró que esta se encontraba* constituida de un 60% de ramas y hojas de árboles y arbustos, 20% de zacates y 20% de hierbas. Foroughbakhch y Tellez, (1990) reportaron que de junio a octubre las cabras que pastorearon un matorral mediano espinoso formaron su dieta con un 76% de arbustivas, 15% de hierbas y 9% de zacates; Vega (1986) observó que las cabras consumieron 58.1% de arbustos, 32.4% de zacates y 9.5% de hierbas de una *comunidad formada por especies*

de *Acacia sp.* y *Cercidium sp.* Asimismo, Puente (1986) observó que la dieta de las cabras que pastorearon un matorral micrófilo estuvo constituida principalmente de un 86% de arbustivas y el resto de la dieta estuvo formada por hierbas y zacates.

El venado cola blanca texano (*Odocoileus virginianus texanus*) de Nuevo León, tiene una dieta constituida principalmente de hojas, tallos, frutos y yemas de plantas arbustivas, debido a que estas especies son las que están mejor distribuidas en la región y por lo tanto presentan una mejor disponibilidad durante el año, debido a que no son afectadas duramente en temporadas de sequía o invierno, a menos que estos sean severos y prolongados. Las hierbas tienen un consumo moderado, siendo aumentado solo después de la época de lluvias, que es cuando aumenta su distribución y disponibilidad debido a su rápido crecimiento y alto requerimiento de humedad. El consumo de zacates durante el año es muy limitado, esto debido a que mientras exista disponibilidad de arbustos y hierbas, el venado limitará su consumo de zacates (Quintanilla, 1989).

Existen varias características agronómicas deseables dentro de las especies arbustivas y árboles que son potencialmente importantes en la alimentación animal, dentro de las cuales se pueden destacar las siguientes: que sean de fácil establecimiento, que compitan con éxito contra las malas hierbas, que sean altamente productivas aún después de cortadas o usadas por el pastoreo, que se adapten con facilidad a climas particulares y a diferentes condiciones edáficas y del medio ambiente, que puedan prosperar con poco o nada de fertilizante, que sean resistentes a enfermedades y plagas locales, así mismo que posean una adecuada producción de semilla o que se puedan propagar vegetativamente, y además de un buen valor nutritivo y aceptabilidad por los animales (Ivory, 1990).

Efectos del medio ambiente sobre la calidad del forraje

Las plantas raramente crecen en medios ambientes ideales; en lugar de eso, ellas experimentan fluctuaciones del medio ambiente y estrés, que modifican la morfología y tasa de desarrollo, limitando la producción y alterando su calidad. El estrés es causado cuando cualquier factor del medio ambiente no es ideal para el crecimiento y desarrollo de las

plantas. Esto puede ser causado por numerosos factores, siendo los de mayor importancia, la temperatura, déficit de agua, radiación solar, deficiencia de nutrientes, y plagas (Buxton y Fales, 1994).

Con respecto a la temperatura, se ha observado que los componentes de la pared celular que son depositados en condiciones de bajas temperaturas se encuentran menos lignificados y presentan altos valores en digestibilidad, en cambio a temperaturas altas, la síntesis de lignina se incrementa preferentemente, causando que el forraje producido presente una baja digestibilidad. También se ha encontrado que las concentraciones de fibra detergente ácido (FDA), celulosa y sílice se incrementan cuando aumenta la temperatura, pero las concentraciones de hemicelulosa disminuyen. Sin embargo los niveles de FDA, celulosa y sílice decrecen y el nivel de lignina se incrementa con un incremento en la radiación solar, sin embargo la temperatura tiene un efecto más profundo sobre la calidad del forraje que el flujo de luz (Nelson y Moser, 1994).

El estrés producido por la falta de agua en las plantas forrajeras, se traduce en un incremento en la digestibilidad y en una disminución en las concentraciones de la pared celular y lignina en comparación con los forrajes no estresados (Wilson, 1982; Halim *et al.*, 1989 a). Con respecto a esta particularidad Wilson (1982) considera que esto es debido a que el estrés por agua ocasiona un crecimiento lento, además de un retraso en el desarrollo del tallo.

Componentes del follaje que influyen sobre la digestibilidad y el consumo voluntario del forraje de arbustivas

Proteína cruda

Las proteínas son sustancias complejas de naturaleza coloidal y de alto peso molecular. Estos compuestos orgánicos están constituídos por carbono, hidrógeno, oxígeno, y azufre; además de un porcentaje constante y considerable de nitrógeno. En términos prácticos, la cifra más común usada es 16%.

Las proteínas son el principal constituyente de los órganos y estructuras blandas del cuerpo animal, y por lo mismo se requiere de una provisión abundante y continua de ellas en el alimento durante toda la vida para crecimiento y reposición. La transformación de la proteína alimenticia en proteína corporal es una parte muy importante del proceso nutricional. Las proteínas vegetales difieren unas de otras y a su vez estas de las proteínas animales; cada especie animal tiene sus proteínas específicas, que también varían en los diferentes órganos, fluidos y otros tejidos. No hay dos proteínas que sean exactamente iguales en cuanto a su comportamiento fisiológico; y desde el punto de vista nutricional, la característica que distingue las diversas proteínas son los aminoácidos que las componen (Maynard *et al.*, 1989).

Las proteínas son extremadamente variables en los forrajes. Los forrajes contienen altos niveles de proteína cuando son jóvenes y están en su fase de crecimiento. Generalmente todos los nutrientes de las plantas decrecen con la edad. La proteína del zacate bermuda puede ser tan baja como de un 3% en la madurez, o ser tan alta como de 17% en estado temprano de crecimiento. Las legumbres tales como el trébol y la alfalfa son más altos en proteína que los zacates pero tienen considerable variación, dependiendo del estado de madurez y condiciones del clima (Van Dyke, 1998).

La proteína cruda (PC) es el porcentaje del total de nitrógeno en una muestra de forraje multiplicado por el factor de corrección que es igual a 6.25. El valor de la proteína cruda en

una muestra de forraje incluye la proteína real y compuestos de nitrógeno no proteico (Van Dyke, 1998).

Durante la temporada de sequía especies de árboles y arbustos tienen alto contenido de PC en comparación con los zacates (Neira *et al.*, 1994), por lo que el ramoneo de árboles y arbustos durante esta época es considerado como un suplemento proteico para rumiantes domésticos y de vida silvestre (Ramírez *et al.*, 1997). En matorrales del noreste de México se ha encontrado que la vegetación nativa tiene un mayor contenido de proteína cruda en primavera porque muchas gramíneas y hierbas están en crecimiento y las arbustivas han renovado su follaje; repitiéndose este fenómeno a mediados de junio y septiembre debido a precipitaciones estacionales (Fierro y Foroughbakhch, 1989). Muchas arbustivas del noreste de México tienen un nivel inferior o equivalente de fibra cruda que la alfalfa (que es un alimento muy completo), y un nivel equivalente o superior de proteína cruda que dicha leguminosa (Foroughbakhch y Hauad, 1989; Ramírez, 2000),

Debido a que las arbustivas tienen altos niveles de proteína cruda, se ha encontrado que pueden ejercer un efecto positivo en el consumo de materia orgánica, proteína cruda y pared celular en las ovejas que se alimentan de pastizales, donde el zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*) crece mezclado con arbustivas, que en aquellos pastizales que solo contienen zacate buffel (Ramírez, 1995 a y b).

Fibra vegetal

Los tejidos de las plantas son organizaciones de diferentes tipos de células, donde cada una tiene funciones muy particulares. Las células con pared primaria están compuestas principalmente de microfibrillas de celulosa intercaladas con hemicelulosas y separadas de células adyacentes por una lámina media; con el tiempo se va formando la pared secundaria y las células se van endureciendo debido a depósitos de lignina, la cual forma ligaduras químicas con la hemicelulosa y celulosa, reduciendo en forma notable la digestibilidad de esta última (McDonald *et al.*, 1988; Maynard *et al.*, 1989).

Celulosa

Esta estructura está formada por unidades de celobiosa, la cual está formada por dos moléculas de β-D-glucosa unidas mediante un enlace del tipo β-1,4. Como tal sus 6 átomos de carbono están en la posición trans, lo que confiere a la celulosa una estructura plana y fibrilar. El material de la pared celular contiene otros ingredientes, sugiriendo las pruebas más recientes la existencia de enlaces químicos entre la celulosa y hemicelulosa, así como entre la celulosa y la lignina. Los polímeros pueden tener más de 15,000 moléculas en la cadena, presentando el hidrógeno enlaces dentro y entre cadenas. El resultado es una estructura fibrosa compacta, estrechamente ligada y muy resistente a las enzimas digestivas de los mamíferos, pero que se puede romper por enzimas microbianas (McDonald *et al.*, 1988; Maynard *et al.*, 1989).

Hemicelulosa

Esta estructura es una mezcla compleja y heterogénea de un gran número de diferentes polímeros de monosacáridos incluyendo D-glucosa, D-xilosa, D-galactosa, D-manosa y L-arabinosa; y también puede contener ácidos urónicos. La molécula hemicelulósica predominante es el xiloglucano (cadena de unidades de D-glucosa con enlaces β-1,4, con ramificaciones terminales de xilosas con enlaces α-1,6), la cual está unida en forma covalente a la fracción péctica de la pared celular y por uniones de hidrógeno a las microfibrillas de celulosa, lo que aumenta significativamente la resistencia de las células vegetales. La hemicelulosa es menos resistente a la degradación química que la celulosa y se le define como un carbohidrato soluble en álcalis diluidos (McDonald *et al.*, 1988; Maynard *et al.*, 1989).

Lignina

Este componente de la pared celular no es un carbohidrato, pero está estrechamente relacionado con este grupo de compuestos, confiere resistencia química y biológica a la

pared celular, y resistencia a las plantas. La lignina es un polímero formado a partir de tres derivados del fenilpropano: alcohol cumárico, alcohol coniferílico y alcohol sinapílico. La molécula de lignina está constituida por numerosas unidades de fenilpropano agrupadas en una compleja *estructura entrecruzada*.

Este compuesto tiene especial importancia en nutrición animal por su gran resistencia a la degradación química. La incrustación física de las fibras vegetales en la lignina, las hace inaccesibles a las enzimas que podrían digerirlas.

Está comprobado que existen fuertes enlaces químicos entre la lignina y la mayoría de los polisacáridos vegetales, así como con las proteínas de la pared celular, que impiden la digestión de estos productos tanto por mamíferos como por microorganismos anaeróbicos.

Los productos leñosos, henos muy maduros y las pajas, son ricos en lignina, y por lo tanto su digestibilidad es baja, a menos que se sometan a tratamientos químicos que rompan los enlaces existentes entre la lignina y los carbohidratos. (McDonald *et al.*, 1988;Maynard *et al.*, 1989).

Relación entre el contenido de fibra y la calidad del forraje

Los constituyentes de la pared celular (CPC) son usualmente más abundantes en zacates que en otros forrajes tomando en consideración su estado fenológico. La lignina detergente ácido (LDA) se encuentra frecuentemente en gran proporción formando parte de la fibra detergente ácido (FDA) de las hojas de arbustos más que en otro tipos de forraje. Hierbas y ramillas maderables usualmente tienen valores intermedios de CPC y LDA / FDA. A medida que muchos forrajes maduran se produce una disminución en los niveles de proteína cruda, extracto etéreo, cenizas totales y calcio; pero hay un incremento en los niveles de materia seca, extracto libre de nitrógeno, fósforo, sílice, cenizas insolubles y sobre todo en los constituyentes de la pared celular ocasionando esto una disminución en su digestibilidad (Short *et al.*, 1974; Devasena *et al.*, 1994).

El consumo de arbustivas incrementa los niveles de fibra detergente neutro (FDN) y FDA en la dieta de las cabras y dichos niveles disminuyen cuando el consumo de hierbas es alto. Como la dieta de las cabras está constituida principalmente por arbustos (hojas y talluelos) los cuales son consumidos durante todo el año, los materiales fibrosos en dicha dieta son altos y aunque la vegetación contenga altos niveles de nutrientes, éstos últimos no se encuentran totalmente disponibles debido al proceso de lignificación que sufren los tejidos de estas plantas, y que tiene como consecuencia que un alto grado de nutrientes queden atrapados en la lignina y por lo tanto no se encuentren disponibles para la digestión animal (Ramírez, 1989).

A medida que se incrementan los porcentajes de celulosa, hemicelulosa y lignina en la pared celular de las plantas, resulta más difícil para los microorganismos del rumen penetrar en esta estructura celular (por la presencia de la lignina), lo que trae como consecuencia una disminución en el porcentaje de digestibilidad de la celulosa y hemicelulosa (Van Soest, 1965), resultando así un pasaje más lento por el tracto digestivo y una digestibilidad también lenta, disminuyendo con esto la calidad del forraje y limitando a la vez el consumo voluntario, por lo que esto último se relaciona inversamente con el contenido de fibra del forraje (Ramírez, 1989). Es decir que el efecto negativo de la lignina sobre la digestibilidad del forraje se manifiesta por una influencia directa sobre la digestibilidad de la pared celular, más que sobre la digestibilidad de la materia orgánica total del forraje (Van Soest, 1993). En estudios relacionados con lo anterior se ha encontrado que muchas arbustivas del noreste de México tienen un nivel inferior o equivalente de fibra cruda con respecto al de la alfalfa, la cual es considerada como forraje de alta calidad y con un contenido muy completo de nutrientes (Ramírez *et al*, 2000).

Cenizas

El contenido de cenizas de una cantidad conocida de alimento se determina por ignición a una temperatura de 500°C, hasta que todo el carbono ha sido eliminado. El residuo que queda constituye las cenizas, que se consideran representantes de los componentes inorgánicos del alimento. Sin embargo, las cenizas pueden incluir productos de origen

orgánico como azufre y fósforo de las proteínas, en tanto que pueden producirse pérdidas de sustancias volátiles durante la combustión, como sodio, cloro, potasio, fósforo y azufre. Por tanto, el contenido en cenizas no es totalmente representativo del material inorgánico de los alimentos, ni cualitativa ni cuantitativamente (McDonald *et al.*, 1993).

Dentro de las cenizas insolubles en ácido, al sílice se le ha asociado con una baja digestibilidad de la FDN sobretodo cuando interactúa con la lignina, produciendo una disminución en la calidad de los forrajes (Van Soest y Jones, 1968).

Nutrimentos minerales en plantas

Además de los elementos mayores de su estructura orgánica, como son carbono, hidrógeno y oxígeno, las plantas contienen una gran variedad de elementos en varias formas químicas. La precisa composición mineral de las plantas es de gran interés cuando se las considera como fuente de alimento, pues la ausencia o sobreabundancia de ciertos elementos pueden afectar su valor alimenticio. Sin embargo, con ciertas excepciones específicas, la composición de la planta refleja en gran medida la fertilidad del suelo sobre el cual se desarrolla, de manera que los análisis detallados de la composición de elementos de las plantas no son de gran valor, excepto para los científicos agrícolas (Bidwell, 1990).

Ciertos elementos como calcio, magnesio, potasio, nitrógeno, fósforo y azufre, son requeridos por las plantas en grandes cantidades y se llaman nutrimentos mayores o macronutrimentos. Otros como el hierro, manganeso, boro, cobre, zinc, molibdeno y cloro, se requieren en pequeñas cantidades y se llaman nutrimentos menores, micronutrimentos o elementos traza (Bidwell, 1990).

a) Importancia de algunos macro y micronutrimentos en las plantas

Calcio

Este elemento abunda en la mayoría de los suelos (50-1000 ppm en solución), y las plantas raramente muestran su deficiencia en condiciones naturales. El calcio es importante en la síntesis de pectina de la lámina media de la pared celular, también está involucrado en el metabolismo o formación del núcleo y mitocondrias. La clorosis de los márgenes de hojas jóvenes, el "encorvamiento" de puntas foliares y la formación de raíces atrofiadas e incoloras son síntomas característicos de deficiencia de calcio. En suelos fuertemente calcáreos, no hay hierro disponible, y la planta sufre deficiencia de hierro, es decir que una de las consecuencias de esta deficiencia es una reducción en la absorción del calcio (Bidwell, 1990).

Magnesio

En los suelos el magnesio es mucho menos abundante (1-100 ppm en solución) que el calcio y la deficiencia de magnesio no es rara en plantas que se cultivan en suelos arenosos y algo ácidos. La mayoría de las plantas lo requieren en grandes cantidades, y el uso de fertilizantes de magnesio se está extendiendo.

El magnesio desempeña importantes funciones en la planta. Parece estar implicado en la estabilización de partículas ribosómicas, al enlazar las subunidades que forman al ribosoma. Participa en reacciones para ligar enzima y sustrato, es un activador de muchas reacciones de transferencia de fosfatos, de enzimas implicadas en la síntesis de ácidos nucléicos, de enzimas que involucran reacciones de carboxilación y descarboxilación, y es un constituyente de la molécula de clorofila (Bidwell, 1990).

Potasio

El potasio es requerido en grandes cantidades por las plantas y una deficiencia de este elemento puede ser frecuente en suelos ligeros o arenosos debido a su solubilidad y a la

facilidad con la que puede lavarse de ellos. Por lo regular se presenta en cantidades suficientes en suelos arcillosos, donde está firmemente retenido. El nivel ordinario de potasio en solución de suelo varía de 1 a 50 ppm. Este elemento es el catión que prevalece en plantas y puede estar implicado en el mantenimiento del balance iónico de las células; además muchas enzimas relacionadas con la síntesis proteica no operan eficientemente en ausencia de potasio (Bidwell, 1990).

Nitrógeno

El nitrógeno tiene un lugar especial en la nutrición, no solo debido a su elevado requerimiento por las plantas, sino porque está casi completamente ausente de la roca madre de la cual se forman los suelos. La presencia de nitrógeno en el suelo es casi totalmente el resultado de la acción biológica, abono artificial o fertilización natural (resultante de descargas eléctricas en la atmósfera). Es probable que la mayoría de las plantas vivan en condiciones naturales en un estado de carencia de nitrógeno que, sin embargo, no es crítico debido a su gran adaptabilidad a amplios rangos de nutrición.

El nitrógeno es de extraordinaria importancia en las plantas porque es un constituyente de proteínas, ácidos nucleicos y muchas otras biomoléculas importantes (Bidwell, 1990).

Fósforo

La absorción de fósforo ocurre como ión fosfato inorgánico monovalente o divalente. Gran parte del fosfato en la planta existe en forma orgánica pero es probable que se transporte principalmente en estado inorgánico. El fosfato se retiene firmemente en el complejo mineral del suelo (ordinariamente en solución se encuentra en una proporción de 0.001 a 20 ppm) en la misma forma que el potasio, y su absorción por las plantas tal vez sea obstaculizada por un exceso de calcio. El fósforo, como el nitrógeno, es muy importante como parte estructural de muchos compuestos, principalmente ácidos nucléicos y fosfolípidos. Además, el fósforo desempeña una función indispensable en el metabolismo energético, relacionado con el impulso de reacciones químicas (Bidwell, 1990).

Sodio

Este elemento es ocasionalmente muy alto en suelos alcalinos y el nivel ordinario en una solución de suelo es de 10–500 ppm. El papel metabólico del sodio es funcional, pero quizá no esencial porque puede sustituirse parcial o totalmente por el potasio. El sodio es un nutrimento benéfico para plantas que poseen la vía fotosintética C_4 y la anatomía de Kranz (Bidwell, 1990).

Hierro

El hierro tiende a entrar en complejo con materiales orgánicos, está más disponible en suelos ácidos y el nivel ordinario de este elemento en una solución de suelo es de 0.1 a 25 ppm. Se requiere más hierro que ningún otro micronutrimento, y se le ha considerado como macronutrimento, o como una categoría en sí mismo. Sin embargo, esta alta demanda puede estar relacionada con la fuerte tendencia del hierro para formar compuestos insolubles de varias clases en el suelo y la planta que lo hacen inaprovechable o inútil. Los suelos alcalinos o calcáreos producen comúnmente plantas deficientes en hierro aunque éste abunde en los minerales del suelo, debido a la formación de óxidos o hidróxidos de hierro insolubles.

El hierro es parte del sitio catalítico de muchas enzimas óxido-reductoras importantes, y es esencial para la formación de clorofila, aunque no forma parte de la molécula. La importancia del hierro en proteínas heme (citocromos y citocromo oxidasa) de la cadena transportadora de electrones se deriva de su capacidad de existir en forma oxidada o reducida; es decir que puede adquirir o perder un electrón, sufriendo un cambio de valencia al hacerlo (Bidwell, 1990).

Manganeso

El manganeso (Mn) se presenta de diversas formas en el suelo, el ión manganeso reducido (Mn^{2+}) es la forma en que generalmente se absorbe, y el nivel ordinario en una

solución del suelo es de 0.2–2 ppm. El manganeso, como el hierro, llega a ser deficiente en suelos oxidantes o alcalinos porque se convierte en formas desaprovechables.

El manganeso se involucra mucho en funciones catalíticas: es el metal activador de algunas enzimas respiratorias y de reacciones del metabolismo del nitrógeno y la fotosíntesis; se necesita para el funcionamiento de la nitrato reductasa, por cuya razón las plantas deficientes en manganeso requieren NH_3. También se necesita para la operación de algunas enzimas en el metabolismo de la hormona ácido indolacético (Bidwell, 1990).

Cobre

El cobre se presenta en pequeñas cantidades en casi todos los suelos (el nivel ordinario en solución es de 0.1 ppm), los cuales son continuamente reabastecidos por la intemperización de minerales que contienen cobre. Está normalmente presente en el complejo de intercambio de los suelos donde está retenido firmemente pero disponible para las plantas, de manera que su deficiencia en la naturaleza es rara. Sin embargo, la fertilización excesiva con fosfatos puede reducir su disponibilidad al formarse precipitados insolubles, y los árboles frutales ocasionalmente sufren por deficiencia.

El cobre desempeña funciones exclusivamente catalíticas en las plantas, siendo parte de varias enzimas importantes como la polifenol oxidasa y la ácido ascórbico oxidasa. Está presente en la plastocianina de los cloroplastos, un componente importante del sistema transportador de electrones de la fotosíntesis, y puede estar involucrado en la reducción de nitritos (Bidwell, 1990).

Zinc

El zinc está ampliamente distribuído en los suelos (ordinariamente 0.1–0.3 ppm en solución), pero como muchos otros metales llega a ser menos aprovechable conforme aumenta el pH. El resultado es un cierto grado de deficiencia, muy generalizado, particularmente en huertos de cítricos con suelos neutros o alcalinos. El zinc tiene relación directa con la síntesis del ácido indolacético (IAA) y como tal su deficiencia puede causar

cambios sustanciales en la forma y hábito de crecimiento de ciertas especies, produciendo plantas atrofiadas y de baja altura, con pobre desarrollo de la dominancia apical. Además, el zinc es un activador obligado de numerosas e importantes enzimas y parece estar implicado en la síntesis de proteínas (Bidwell, 1990).

Nutrimentos minerales en animales

Se ha demostrado que por lo menos algunas especies animales requieren un mínimo de 21 elementos minerales y de otros cinco que pueden ser básicos desde el punto de vista metabólico, de acuerdo a información limitada que se tiene hasta la fecha. Sin embargo se ha considerado que algunos minerales son básicos para un funcionamiento normal del cuerpo por lo que son necesarios en las dietas de los animales, estos minerales se han dividido en dos grupos de acuerdo a las cantidades relativas que se necesitan y ellos son macrominerales y microminerales. Los macrominerales son: calcio (Ca), fósforo (P), sodio (Na), cloro (Cl), potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S). Los microminerales o minerales traza son: cobalto (Co), yodo (I), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), selenio (Se), cromo (Cr), flúor (F), molibdeno (Mo) y silicio (Si) (Church y Pond, 1987).

a) Importancia de algunos macro y micronutrimentos en los animales

Calcio

La función básica del calcio en los animales, es servir como un componente estructural del esqueleto y también interviene en el control y la excitabilidad de nervios y músculos. La deficiencia de calcio ocasiona principalmente raquitismo en los animales jóvenes, la cual en los adultos se denomina osteomalasia (Church y Pond, 1987).

Magnesio

El magnesio es necesario para un desarrollo esquelético normal; se utiliza como un constituyente de los huesos; participa en la fosforilación oxidativa de las mitocondrias del músculo cardiaco; se necesita para la activación de enzimas que dividen y transfieren las fosfatasas y las muchas enzimas que toman parte en las reacciones en que interviene el ATP. La deficiencia de Mg en el ganado de pastoreo, produce el síndrome llamado tetania de los pastos o tetania por Mg (Church y Pond, 1987).

Potasio

En los tejidos animales el potasio se encuentra principalmente dentro de las células, y por medio de un sistema que necesita energía que se relaciona con el movimiento del Na, tiene un papel importante en el equilibrio osmótico; interviene en el mantenimiento del balance ácido-básico del organismo y se necesita para la activación de la piruvatoquinasa. El potasio facilita la captación de los aminoácidos neutrales e influye en el metabolismo de los glúcidos al intervenir en la captación celular de la glucosa. La deficiencia de potasio se caracteriza por electrocardiogramas anormales en terneros, gallinas y cerdos, lo mismo que en otras especies (Church y Pond, 1987).

Fósforo

El fósforo se encuentra en el esqueleto como parte del cristal de hidroxiapatita, mientras que el que se encuentra en los tejidos blandos se localiza en su mayoría en formas inorgánicas. La función principal de este mineral es el de ser un componente del esqueleto, suministrando así el apoyo estructural del cuerpo. También es un componente del fosfato del RNA y DNA. El signo más común de deficiencia de fósforo en los animales en crecimiento es el raquitismo (Church y Pond, 1987).

Sodio

En los animales el sodio actúa como un componente extracelular a través de una "bomba"

de Na que depende de energía, junto con K, Mg y los componentes intracelulares, para el mantenimiento de la presión osmótica. Interviene también en el mantenimiento del balance ácido-básico en el cuerpo y en la transferencia de impulsos nerviosos por medio del potencial energético que se asocia con su separación del K en la membrana celular. Los principales signos de deficiencia de sodio son, una disminución tanto en la tasa de *crecimiento como en la eficiencia del aprovechamiento de la alimentación y una menor* producción de leche y pérdida de peso en los adultos (Church y Pond, 1987).

Hierro

Del 60 al 70% de Fe corporal animal se encuentra en la hemoglobina de las células rojas sanguíneas y en la mioglobina del músculo; el 20% se almacena en formas lábiles en el hígado, bazo y otros tejidos; el 10-20% restante se fija en los tejidos como un componente de la miosina muscular y actomiosina muscular, como constituyente de enzimas y asociado con metaloenzimas. El signo más común de deficiencia de Fe es la anemia microcítica hipocrómica que se caracteriza porque presenta células rojas más pequeñas que las normales y una cantidad de hemoglobina inferior a la normal (Church y Pond, 1987).

Manganeso

El manganeso es indispensable para la formación del sulfato de condroitina, que es un componente de los mucopolisacáridos de la matriz orgánica del hueso. Por lo tanto, es indispensable para la formación del hueso. Se necesita para prevenir la ataxia y el equilibrio deficiente en los animales. Muchas anormalidades esqueléticas diferentes se asocian con la deficiencia de Mn en varias especies animales. Estas anormalidades se relacionan con el papel del Mn en la síntesis de los mucopolisacáridos en la matriz orgánica del hueso. Se puede presentar ataxia, coordinación y balance deficientes en mamíferos recién nacidos y en aves recién empolladas, cuyas madres recibieron dietas deficientes de manganeso (Church y Pond, 1987).

Cobre

El Cu se necesita para la actividad de las enzimas que se asocian con el metabolismo del Fe; para la formación de elastina y de colágena; la producción de melanina y para la integridad del sistema nervioso central. Se necesita para la formación de las células rojas sanguíneas normales (hematopoyesis), aparentemente al permitir que se lleve a cabo la absorción normal del Fe. La deficiencia de Cu se asocia con una disminución en la concentración tisular y sanguínea, también esto se refleja en la interferencia de una hematopoyesis normal y con la anemia (Church y Pond, 1987).

Zinc

Las funciones bioquímicas del zinc se relacionan con las funciones de las enzimas, de las cuales es un constituyente. El Zn se necesita para la síntesis normal de proteínas y para el metabolismo de estas.; es un componente de la insulina y de esta forma, actúa en el metabolismo de los glúcidos. El signo más característico de deficiencia de Zn, es el retraso en el crecimiento, anorexia, disminución de la actividad plasmática de la fosfatasa alcalina y en la concentración plasmática de Zn (Church y Pond, 1987).

Energía

La energía se puede definir como la capacidad de efectuar un trabajo, cuando el trabajo corresponde al producto de una fuerza dada que actúa a lo largo de una determinada distancia. Sin embargo, una definición tan amplia como ésta no se puede aplicar directamente al contexto de la nutrición animal, ya que generalmente interesa mucho más la forma en que se utiliza la energía química.

Desde el punto de vista de su utilización en los animales, la energía se divide en varias fracciones que son: energía bruta (EB), energía digestible aparente (ED), energía metabolizable (EM) y energía neta (EN). La EB es la cantidad de calor producido por la oxidación completa del forraje, pienso u otras sustancias, en el interior de un aparato

denominado bomba calorimétrica de oxígeno. La ED aparente es igual a la EB de los alimentos ingeridos menos la energía fecal. La EM es igual a la ED aparente menos la energía que se pierde en la orina y los gases combustibles. La EN es igual a la EM menos el incremento calórico y el calor de fermentación (Church y Pond, 1987).

De acuerdo con lo anterior, se tienen informes de que en matorrales del noreste de México donde hay predominio de arbustivas, las cabras que pastorean esta vegetación no satisfacen sus necesidades energéticas porque sus niveles de energía digestible son bajos (Ramírez, 1989; Carlos, 1994).

Taninos

Los taninos presentes en las plantas son compuestos fenólicos solubles en agua con un peso molecular mayor que 500 y con la capacidad para precipitar gelatina y otras proteínas de soluciones acuosas. Los taninos hidrolizables y los taninos condensados son dos grupos de estos compuestos los cuales pueden ser diferenciados por su estructura y reactividad hacia reactivos hidrolíticos. Los taninos hidrolizables consisten de una porción de carbohidrato en el cual grupos hidroxilos son esterificados a ácido gálico o ácido m-digálico (galotaninos) o ácido hexahidroxidifénico. Este tipo de taninos es rápidamente hidrolizado por ácidos, bases o por enzimas (Kumar y D'Mello, 1995). Los taninos hidrolizables son abundantes en hojas, frutos, vainas y agallas de dicotiledóneas, tales como encinos, castaños y otras plantas, pero no se han detectado en monocotiledóneas (Lewis y Yamamoto, 1989). En contraste, los taninos condensados están ampliamente distribuídos y típicamente producen antocianidinas con la degradación a ácidos. Así los taninos condensados son también referidos como proantocianidinas. Todos estos compuestos contienen el característico esqueleto flavonoide, con la epicatequina y catequina ligadas ampliamente en infinitos arreglos, dependiendo de la naturaleza de los enlaces de interflavonoides (Kumar y D'Mello, 1995).

La afinidad de los taninos por las proteínas se incrementa cuando aumenta el peso molecular de los taninos (Kumar y Horigome, 1986). Sin embargo, cuando el peso molecular

es bastante grande, los taninos se vuelven insolubles y pierden su afinidad por las proteínas (Kumar y D'Mello, 1995).

Los complejos que se forman entre taninos y proteínas pueden ser solubles o insolubles. Si los taninos están presentes en exceso, toda la proteína disponible es precipitada. Sin embargo, cuando las proteínas están presentes en exceso los complejos permanecen solubles (Haslam, 1989).

Los principales efectos antinutricionales de los taninos son: la reducción del consumo voluntario del forraje, la disminución de digestibilidad de nutrientes, la producción de efectos adversos en el metabolismo del rumen y toxicidad en los animales.

La disminución en el consumo voluntario puede deberse a una disminución en la digestibilidad de la materia seca ocasionado por una disminución en la permeabilidad de la pared intestinal (Mitjavila *et al.*, 1977), y al hecho de que los taninos pueden precipitar las proteínas de la saliva, causando un no palatable sabor astringente en la boca con el consiguiente rechazo del forraje (Kumar y D'Mello, 1995).

Los taninos al formar enlaces con las proteínas y la fibra, las hacen indigestibles. Los taninos libres pueden formar complejos con las proteínas de las dietas (Vaithiyanathan y Kumar, 1993), tanto como con las proteínas endógenas incluyendo a las enzimas. Las proteínas así enlazadas con los taninos les impiden que experimenten un metabolismo normal. Además, la interacción taninos-enzimas pueden inhibir la actividad enzimática (Kumar y D'Mello, 1995).

La presencia de taninos condensados insolubles en la fibra detergente neutro y fibra detergente ácido, indica que los taninos están fuertemente enlazados con la fibra (Van Soest *et al.*, 1986). La fibra enlazada con los taninos puede resistir su degradación por parte de los microbios del rumen y también los taninos libres pueden inactivar a estos microorganismos y sus enzimas (Kumar y D'Mello, 1995).

Tanto los taninos condensados como los hidrosolubles que se encuentran en alimentos y forrajes pueden causar toxicidad en los animales. Upadhyaya (1985) observó que el consumo diario de 0.85 g de *Prosopis cineraria* (la cual contenía taninos condensados) por Kg de peso corporal producía a los 15 días toxicidad en carneros.

En rumiantes, los taninos hidrolizables pueden ser degradados en el rumen de borregos y la absorción de estos fenoles son excretados en la orina como glucurónidos (Murdiati *et al.*, 1987). Sin embargo Mc Sweeney *et al.*, (1988) reportaron que la ingestión diaria de taninos hidrolizables a un nivel de 0.9 g Kg^{-1} de peso corporal, puede producir toxicidad en borregos a los 15 días. Barry y Duncan (1984), así como también Ramírez (2000) reportan que un contenido de taninos condensados de aproximadamente un 5% en la dieta de los rumiantes puede no solo actuar como impedimento alimenticio sino también influenciar la digestibilidad de nutrientes.

Técnica de la bolsa nylon en la digestibilidad *in situ*

Mehrez y Ørskov (1977) sugirieron el empleo de bolsas de nylon como método rutinario para medir la velocidad de degradación de las proteínas de los forrajes y suplementos proteicos. En este método, un número variable de bolsas se incuban en el rumen durante diferentes períodos de tiempo, de tal forma que puede conocerse el ritmo de degradación. El tamaño de la malla de la tela que se use para las bolsas debe ser tal, que permita la entrada de los microorganismos ruminales y la salida de los gases producidos, pero que impida al máximo la salida de partículas del ingrediente en estudio (Ørskov, 1982).

Con respecto a las características de las bolsas nylon usadas en la digestibilidad *in situ*, se recomienda que el tamaño de poro sea de 20 a 40 μm, que el tamaño de las bolsas y la cantidad de muestra sean de 14.0 x 9.0 cm y 3 a 5 g de materia seca respectivamente (Ørskov, 1982). Con relación a lo anterior, las bolsas nylon de talla estándard que actualmente se venden en el mercado son de 5 x 10 cm y 10 x 20 cm, con poros de 53 μm.

La relación entre el tamaño de la bolsa y la muestra empleada dependen en buena medida, de la cantidad de residuos necesarios para los análisis posteriores. La relación entre el tamaño de la bolsa y la cantidad de muestra a utilizar debe estar de acuerdo con el diámetro de la cánula ruminal (alrededor de 4.0 a 5.0 cm). Con este tipo de cánula y tamaño de bolsas mencionadas, es posible incubar en el ganado ovino 5 a 6 bolsas al mismo tiempo para posteriormente extraerlas a diferentes intervalos de tiempo. En el caso del ganado vacuno, pueden ser empleadas cánulas de mayor tamaño y un número mayor de bolsas, si así se requiere (Ørskov, 1982).

Los forrajes secos, cereales y semillas oleaginosas deben molerse previamente en un molino que tenga una malla con poros de 2.5 a 3 mm, para que una vez pesado dicho material pueda ser colocado dentro de las bolsas nylon, ya que lo que se busca es que las muestras preparadas para la incubación deben ser representativas del material que en forma natural llega al rumen después de haber sido consumido por el animal (Ørskov, 1982).

Las bolsas con las muestras deben quedar ancladas en cuerdas de nylon de 25 cm de largo en el rumen del ganado ovino, y aproximadamente de 50 cm o más en el ganado vacuno, las cuales deben quedar sujetas a la cánula. Esa longitud permite a las bolsas moverse libremente en el rumen. Los tiempos de incubación en el rumen varían de acuerdo con el material contenido en las bolsas; por ejemplo en la mayoría de los suplementos proteicos los tiempos de incubación son 0, 2, 6, 12, 24 y 36 horas, pero si se trata de henos. pajas y otros materiales fibrosos, generalmente se requieren tiempos de incubación más largos (Ørskov, 1982).

La dieta del animal donde se incuben las bolsas nylon puede tener un efecto importante sobre la tasa de degradación del material que se incuba; por ejemplo, si las dietas tienen una alta proporción de concentrados habrá una actividad celulolítica reducida en el rumen; por lo tanto la dieta escogida para el animal lógicamente dependerá del propósito del experimento (Ørskov, 1982).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de áreas de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en tres localidades geográficas y ecológicas distintas (Figura 1). Una de ellas se encuentra en el municipio de Mina dentro de la subprovincia de Sierras y Llanuras Coahuilenses (perteneciente a la provincia llamada Sierra Madre Oriental), en ella se encuentran sierras de calizas plegadas y entre estas sierras se extienden amplias bajadas y llanuras de origen aluvial; los suelos de los llanos de esta región presentan asociaciones dominantes de regosol calcárico con xerosol háplico y los tipos de vegetación presentes son el matorral desértico rosetófilo, el matorral desértico micrófilo y la vegetación halófita. Las dos localidades restantes se encuentran en los municipios de Carmen y Hualahuises, las cuales están ubicadas dentro de la subprovincia de Llanuras y Lomeríos (perteneciente a la provincia de la Llanura Costera del Golfo Norte), caracterizada por la presencia de lomeríos suaves con bajadas y llanuras de extensión considerable, con suelos predominantes de tipo vertisol, que llegan a ser profundos y de color oscuro y el tipo de vegetación predominante es el matorral submontano (INEGI, 1986).

Características edafoclimáticas de los sitios de colecta

La localidad de Mina está ubicada entre los 26° 03' de latitud norte y 100° 35' 30" de longitud oeste y en dicha área está presente un matorral desértico micrófilo. Su clima es muy seco y semicálido, con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 21.4 °C y con una precipitación total anual de 277.7 mm. El suelo es calcáreo, con un pH de 7.8, de textura franca y con escasa materia orgánica (INEGI, 1982; INEGI, 1983; INEGI, 1990).

El Carmen se localiza entre los 25° 57' de latitud norte y 100° 20' de longitud oeste. Su vegetación es del tipo matorral submontano. Su clima es semiseco y semicálido, con lluvias en verano, su temperatura media anual es de 21.4 °C y la precipitación total anual es de

694.2 mm. El suelo es calcáreo, de origen aluvial, de textura franco-arcillosa, con mediana cantidad de materia orgánica y con un pH de 7.5 (CETENAL, 1977; INEGI, 1990).

Hualahuises se localiza entre los 24° 55' de latitud norte y 99° 42' 30" de longitud oeste y tiene una cubierta vegetal caracterizada por un matorral submontano. Su clima es semicálido y subhúmedo, con lluvias en verano, la temperatura media anual es de 22.3 °C y la precipitación total anual es de 749.2 mm. El suelo es de origen coluvial, de textura franco-arcillosa, con mediana cantidad de materia orgánica y con un pH de 7.7 (CETENAL,1977; DETENAL, 1978; INEGI, 1987).

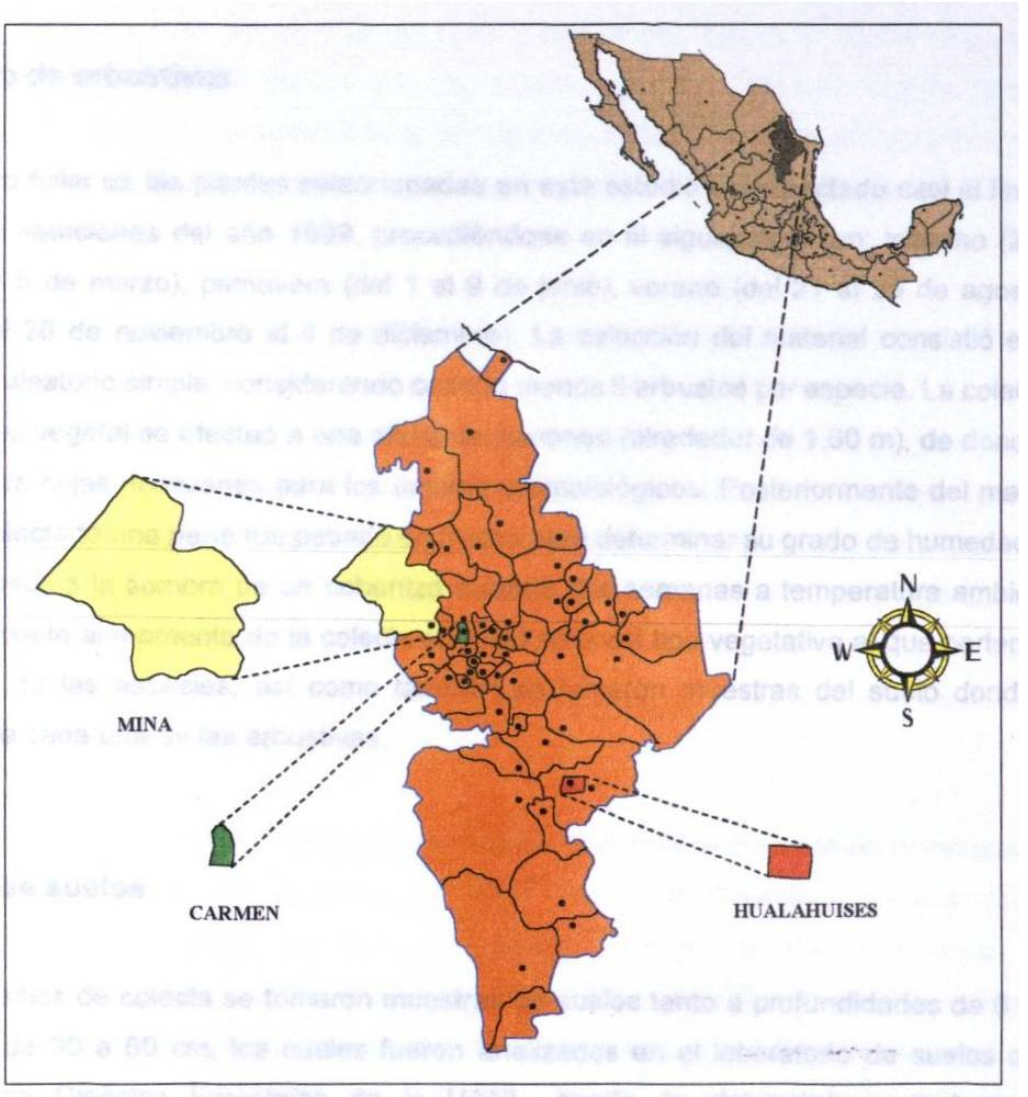


Figura 1. Municipios del estado de Nuevo León, donde se ubicaron las áreas de muestreo.

A) FASE DE CAMPO Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LAS ESPECIES EVALUADAS

Muestreo de arbustivas

El tejido foliar de las plantas seleccionadas en este estudio fue colectado casi al final de las cuatro estaciones del año 1999, procediéndose en el siguiente orden: invierno (27 de febrero al 5 de marzo), primavera (del 1 al 9 de junio), verano (del 21 al 29 de agosto) y otoño (del 26 de noviembre al 4 de diciembre). La selección del material consistió en un muestreo aleatorio simple, considerando cuando menos 5 arbustos por especie. La colección del material vegetal se efectuó a una altura de ramoneo (alrededor de 1.60 m), de donde se tomaron las hojas necesarias para los análisis bromatológicos. Posteriormente del material vegetal colectado una parte fue pesado en fresco para determinar su grado de humedad y el resto se secó a la sombra de un cobertizo durante dos semanas a temperatura ambiente. Adicionalmente al momento de la colecta se tomó nota del tipo vegetativo al que pertenecía cada una de las especies, así como también se tomaron muestras del suelo donde se encontraba cada una de las arbustivas.

Análisis de suelos

De los sitios de colecta se tomaron muestras de suelos tanto a profundidades de 0 a 30 cm como de 30 a 60 cm, los cuales fueron analizados en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL, donde se determinó su textura, pH, conductividad eléctrica y su contenido de materia orgánica, nitrógeno, potasio y fósforo.

Los análisis de suelo muestran que el sitio del municipio de Mina donde se colectó *Larrea tridentata* es medianamente pobre en materia orgánica (Anexo 1), pobre en nitrógeno, alto en potasio y en fósforo es alto solo hasta 30 cm de profundidad. El sitio del municipio de Carmen donde se colectaron *Castela texana* y *Schaefferia cuneifolia*, tiene una cantidad

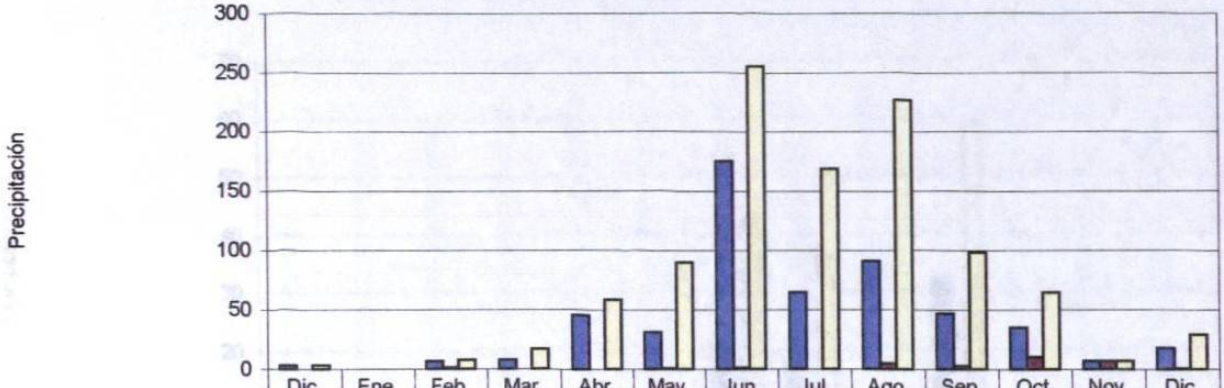
mediana de materia orgánica, es medianamente pobre en nitrógeno y es deficiente en potasio y fósforo (Anexo 2). El sitio No. 1 del municipio de Hualahuises, donde se colectaron *Bumelia celastrina, Acacia wrightii, Zanthoxylum fagara* y *Forestiera angustifolia*, es medianamente rico en materia orgánica, medianamente pobre en nitrógeno, y bajo en potasio y fósforo (Anexo 3). El sitio No. 2 de Hualahuises donde se colectó *Karwinskia humboldtiana* tiene una cantidad mediana de materia orgánica, es alto en nitrógeno hasta los 30 cm de profundidad y medianamente pobre después de los 30 cm, en potasio y fósforo es deficiente hasta los 30 cm de profundidad y alto después de los 30 cm (Anexo 4).

Registro de datos climatológicos

De registros realizados por la Comisión Nacional del Agua (CNA) se tomaron las *precipitaciones máximas, mínimas* y totales, así como también las temperaturas máximas, mínimas y medias mensuales de los municipios de Hualahuises, Carmen y Mina. Los datos climatológicos presentados en este trabajo corresponden al período comprendido de enero a diciembre de 1999 (también se tomó en cuenta el mes de diciembre de 1998 porque en este mes se inicia el invierno, y fue en esta estación cuando se inició la colecta de las hojas de las arbustivas para su investigación).

Durante el año de estudio la precipitación pluvial total más alta ocurrió en la estación de verano, siendo de 100 mm en Mina, de 286.7 mm en el Carmen y de 494 mm en Hualahuises; presentándose en dichos municipios durante la misma estación una temperatura media mensual respectiva de 26.6°C, 29.6°C y 28.1°C. La estación más seca fue invierno, presentándose una precipitación total de 10.4 mm en Mina, de 10.2 mm en el Carmen y de 23.9 mm en Hualahuises; al mismo tiempo, la temperatura media mensual durante esta estación fue de 18.5°C, 20.1°C y 20°C, respectivamente, en los mismos municipios (Figuras 2-7).

Figura 2. Precipitación (mm) máxima, mínima y total, registradas en el municipio de Hualahuises, N.L. Datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA)

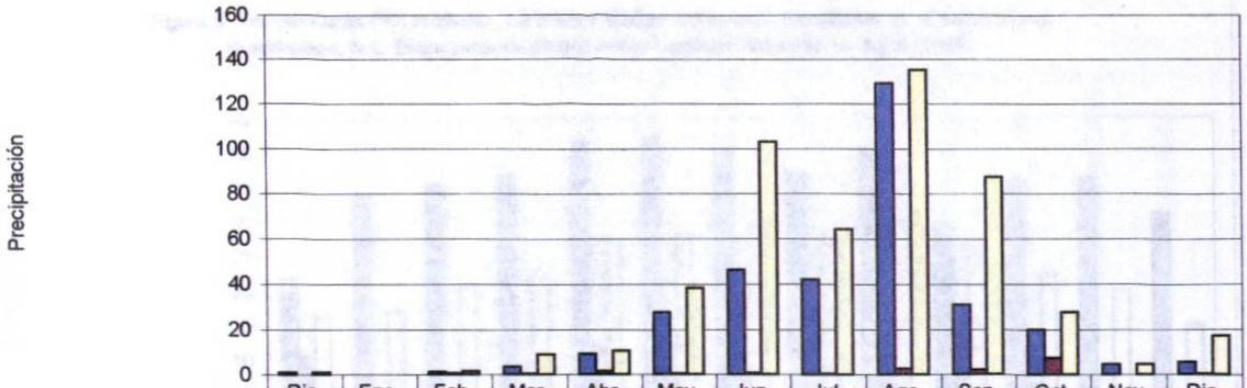


	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Precipitación máxima	3.2	0	6.4	7.7	45.4	31.4	175.3	64.6	90.9	47	35	7.2	17.9
Precipitación mínima	0	0	1	0.1	0.1	0.3	1.2	0.2	5.05	2.8	10.5	7.2	0.8
Precipitación total	3.2	0	7.4	16.5	58.8	89.8	255.1	169.1	226.6	98.3	64.8	7.2	29

Diciembre de 1998 a Diciembre de 1999

Precipitación máxima Precipitación mínima Precipitación total

Figura 3. Precipitación (mm) máxima, mínima y total, registradas en el municipio de Carmen, N.L. Datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA).

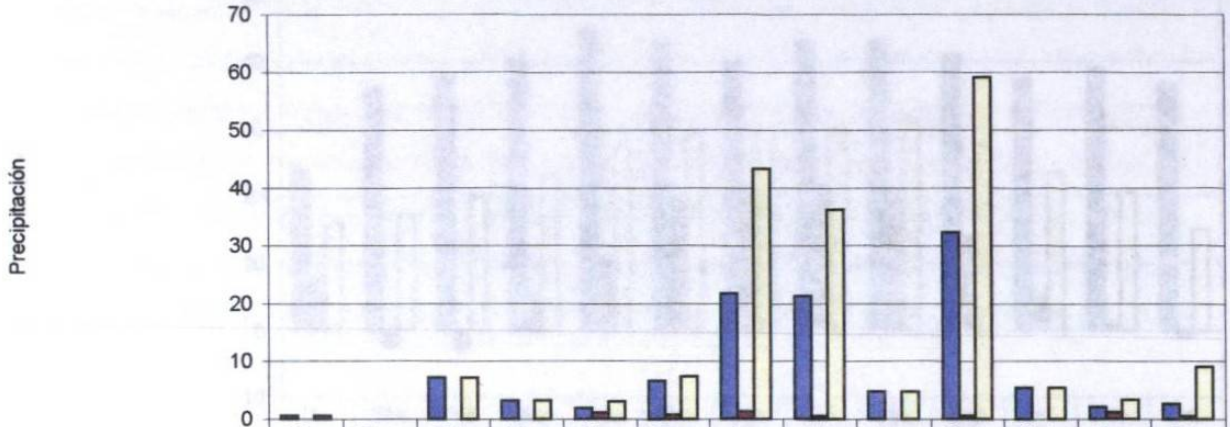


	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Precipitación máxima	0.83	0	1	3.5	9	27.5	46	42	129	31	20	4.5	5.5
Precipitación mínima	0	0	0.5	0.2	1.5	0.3	0.5	0.2	2.5	2	7.5	0	0.3
Precipitación total	0.83	0	1.5	8.7	10.5	38.3	103	64.2	135	87.5	27.5	4.5	17.1

Diciembre de 1998 a Diciembre de 1999

Precipitación máxima Precipitación mínima Precipitación total

Figura 4. Precipitación (mm) máxima, mínima y total, registradas en el municipio de Mina, N.L. Datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA).

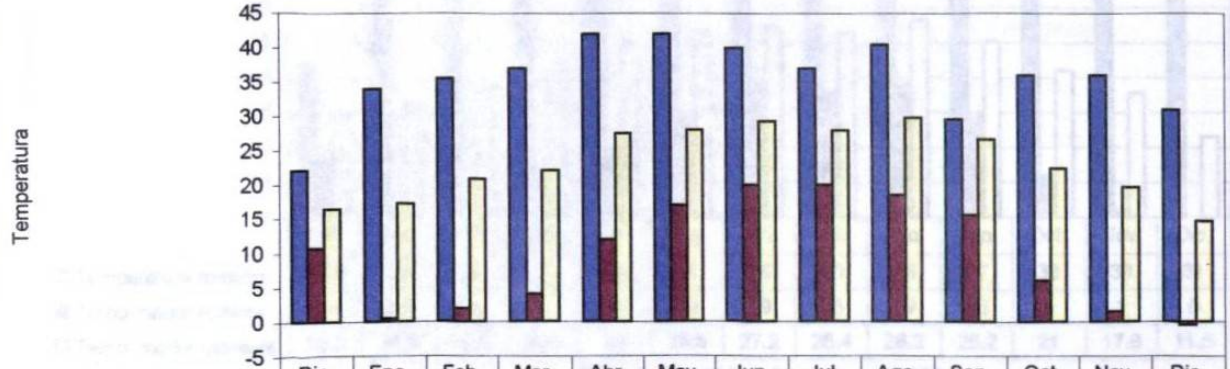


	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Precipitación máxima	0.6	0	7.2	3.2	1.9	6.6	21.8	21.3	4.7	32.4	5.4	2.1	2.6
Precipitación mínima	0	0	0	0	1.1	0.8	1.3	0.5	0	0.5	0	1.2	0.6
Precipitación total	0.6	0	7.2	3.2	3	7.4	43.2	36.2	4.7	59.1	5.4	3.3	9

Diciembre de 1998 a Diciembre de 1999

Precipitación máxima Precipitación mínima Precipitación total

Figura 5. Temperaturas (°C) máximas, mínimas y medias mensuales, registradas en el municipio de Hualahuises, N.L. Datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA).

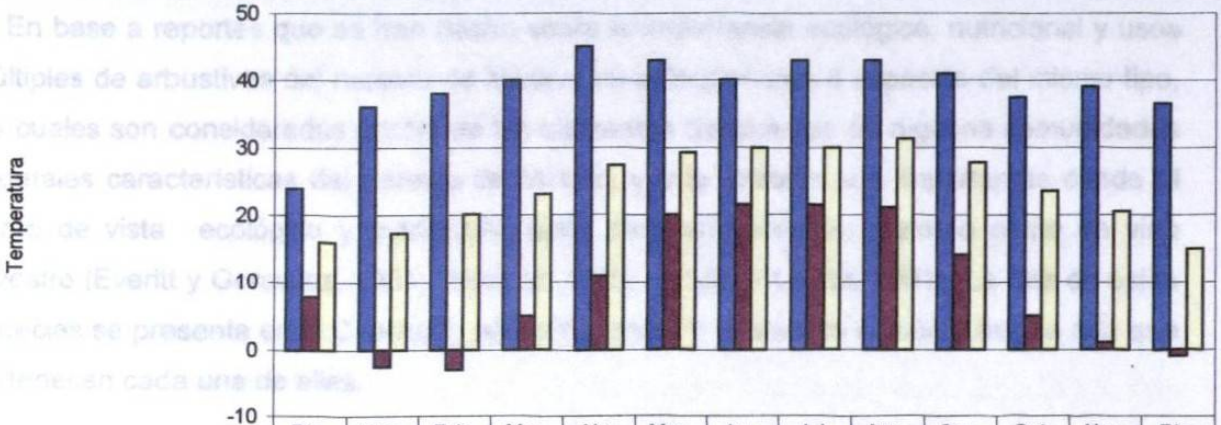


	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Temperatura máxima	22	34	35.5	37	42	42	40	37	40.5	29.5	36	36	31
Temperatura mínima	10.7	0.5	2	4	12	17	20	20	18.5	15.5	6	1.5	-0.5
Temp.media mensual	16.3	17.2	20.8	22.1	27.5	28	29.2	27.9	29.8	26.6	22.4	19.7	14.7

Diciembre de 1998 a Diciembre de 1999

Temperatura máxima Temperatura mínima Temp.media mensual

Figura 6. Temperaturas (°C) máximas, mínimas y medias mensuales, registradas en el municipio de Carmen, N.L. Datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA).

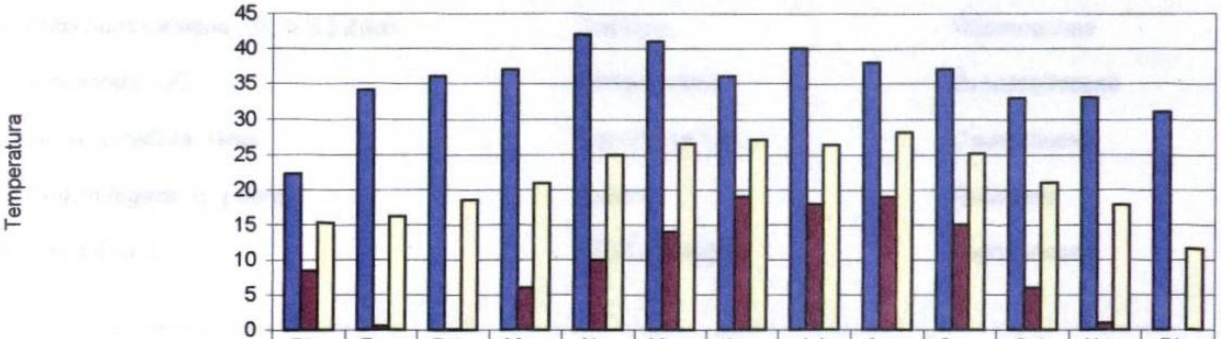


	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Temperatura máxima	23.9	36	38	40	45	43	40	43	43	41	37.5	39	36.5
Temperatura mínima	7.9	-2.5	-3	5	11	20	21.5	21.5	21	14	5	1	-1
Temp. Media mensual	15.9	17.2	20.1	23	27.3	29.2	30	30	31.3	27.7	23.5	20.5	14.9

Diciembre de 1998 a Diciembre de 1999

Temperatura máxima Temperatura mínima Temp. Media mensual

Figura 7. Temperaturas (°C) máximas, mínimas y medias mensuales, registradas en el municipio de Mina, N.L. Datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA).



	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Temperatura máxima	22.3	34	36	37	42	41	36	40	38	37	33	33	31
Temperatura mínima	8.4	0.5	0.1	6	10	14	19	18	19	15	6	1	0
Temp. media mensual	15.3	16.2	18.6	20.9	25	26.5	27.2	26.4	28.2	25.2	21	17.8	11.5

Diciembre de 1998 a Diciembre de 1999

Temperatura máxima Temperatura mínima Temp. media mensual

Selección de especies vegetales

En base a reportes que se han hecho sobre la importancia ecológica, nutricional y usos múltiples de arbustivas del noreste de México, se seleccionaron 8 especies del mismo tipo, las cuales son consideradas dentro de los elementos dominantes de algunas comunidades vegetales características del noreste de México, y que también son importantes desde el punto de vista ecológico y nutricional, tanto para animales de pastoreo como de vida silvestre (Everitt y Gonzalez, 1981; Ramírez, 1989; Vargas y López, 1991). La lista de estas especies se presenta en el Cuadro 1, así como también el nombre común y familia a la que pertenecen cada una de ellas.

Cuadro 1. Lista de especies arbustivas del noreste de México que fueron utilizadas para determinar su valor nutritivo y digestibilidad *in sítu*

Nombre científico y autor	Nombre común	Familia
Acacia wrightii Benth.	Uña de gato	Leguminosae
Bumelia celastrina H.B.K.	Coma	Sapotaceae
Castela texana T. & G. Rose	Chaparro amargoso	Rutaceae
Forestiera angustifolia Torr.	Panalero	Oleaceae
Karwinskia humboldtiana (R. & S.) Zucc.	Coyotillo	Rhamnaceae
Larrea tridentata DC.	Gobernadora	Zygophyllaceae
Schaefferia cuneifolia Gray.	Capul o panalero	Celastraceae
Zanthoxylum fagara (L.) Sarg.	Colima	Rutaceae
Medicago sativa L.	Alfalfa (testigo)	Leguminosae

Características fenológicas, importancia ecológica, económica, y áreas de distribución de las especies seleccionadas

Zanthoxylum fagara (L.) Sarg.

Descripción - arbusto conocido como uña de gato o colima; con espinas curvas; aromático; de ramas intrincadas; con una altura que varía de 1.5 a 9 m y con un tallo a veces de 25 cm de diámetro; hojas compuestas, perennes, de un verde brillante, con un raquis ampliamente alado; flores pequeñas y de un color verde-amarillento; frutos pequeños, rojo-café a negro, redondos, lisos, brillantes y con una semilla. Es una especie sub-dominante, comúnmente se encuentra en el sur de Texas, donde se asocia con *Prosopis glandulosa* (mezquite), *Lycium berlandieri* (tomatillo) y *Opuntia engelmannii* (nopal). Crece en una variedad de suelos; de tipo superficial rocoso a profundamente arcilloso-arenoso (Everitt y Drawe, 1993; Taylor *et al.*, 1999).

Utilidad – el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) ramonea su follaje y talluelos. Muchas aves, incluyendo la paloma de alas blancas (*Zenaida asiatica*), gustan de las semillas y muchos pájaros cantores anidan en los arbustos más altos. Adicionalmente muchos animales pequeños y reptiles utilizan este arbusto y otras especies asociadas, para establecer sus madrigueras. Es una fuente de alimento para las larvas de algunas mariposas y de néctar para mariposas adultas. Las cabras (*Capra hircus*) utilizan el follaje como alimento durante el año y frecuentemente también utilizan la corteza durante el invierno (Everitt y Drawe, 1993; Taylor *et al.*, 1999).

Históricamente la colima ha sido usada en medicina. La corteza y hojas, por presentar un polvo característico, son utilizadas como condimento, los extractos de la corteza y hojas se usan como sudoríficos y tonificantes de nervios, en tanto la madera produce un tinte amarillento (Vines, 1976).

Área de distribución - en EUA crece en los estados de Florida y Texas. En México en los estados de Baja California, Sonora, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán y Chiapas. También se le encuentra en Centro y Sudamérica (Stewart *et al.*, 1970; Alanís *et al.*, 1995).

Bumelia celastrina H.B.K.

Descripción – comúnmente llamado coma, es un arbusto o árbol pequeño; de 4.5 a 8 m de altura; a veces con un tallo de 20 cm de diámetro; espinoso; con hojas semí-perennes, obovadas a elípticas, alternas, de color verde-oscuro; flores blanco-verdoso; el fruto es una drupa azul-oscuro. Crece en varios tipos de suelo, incluyendo el tipo margoso, también en cerros gravosos y marismas salinas. Comúnmente se desarrolla en áreas de matorral mixto (Everitt y Drawe, 1993; Taylor *et al.*, 1999).

Utilidad – el fruto y semillas son consumidos por varias especies de pájaros, incluyendo la paloma de alas blancas (*Zenaida asiatica*), chachalacas (*Ortalis vetula*) y mamíferos como mapaches (*Procyon lotor*) y coyotes (*Canis latrans*), en tanto que las hojas son ramoneadas por el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*). El árbol es usado frecuentemente por muchos pájaros para anidar, dormir o descansar; y proporciona una cubierta protectora para muchas especies de vida silvestre. El ganado ramonea sus hojas y se beneficia también de la cubierta protectora que proporciona su follaje. El fruto es consumido en México y es considerado como afrodisíaco. Como su madera tiene cierta dureza, ocasionalmente es usada para fabricar muebles y también se utiliza como planta de ornato (Everitt y Drawe, 1993; Taylor *et al.*, 1999).

Área de distribución - en EUA esta especie se localiza en los estados de Florida y Texas. En México crece en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Oaxaca y Chiapas. Encontrándose también en Centroamérica y en Sudamérica en los países de Colombia y Venezuela (Stewart y Marshall, 1970; Vines, 1976).

Castela texana T. & G. Rose

Descripción - arbusto comúnmente conocido como chaparro amargoso, tiene una talla aproximada de 0.9 a 3 m; espinoso; de ramificación múltiple; con espinas en la punta de las ramas las cuales son de color blanco-grisáceo; hojas pequeñas, simples, alternas, linear a oblongas y de un sabor amargo; flores color rojizo; el fruto es una drupa rojiza. Este arbusto crece en el sur y suroeste de Texas, localizándose en cerros, acantilados, en densos chaparrales y en praderas de mesquite (Everitt y Drawe, 1993; Taylor *et al.*, 1999).

Utilidad – debido a su sabor amargo, el chaparro amargoso tiene un valor limitado como alimento para los animales de vida silvestre; sin embargo, el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) ramonea sus hojas y consume sus frutos. Las espinas de estas plantas les sirven de protección a pequeños mamíferos, y los pájaros ocasionalmente anidan en ellos. El valor de su follaje para el ganado es desconocido y las espinas les pueden causar lesiones (Everitt y Drawe, 1993; Taylor *et al.*, 1999).

Históricamente, este arbusto ha sido usado como una planta medicinal, ya que sus extractos han sido usados para combatir disturbios intestinales, fiebre, enfermedades de la piel, ictericia amarilla y disentería (Taylor *et al.*, 1999).

Área de distribución – en EUA esta especie se encuentra Texas y en México se distribuye en los estados de Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí (Vines, 1976; Stewart y Marshall, 1970).

Schaefferia cuneifolia Gray.

Descripción – arbusto comúnmente llamado capul o panalero, densamente ramificado; sin espinas; con hojas semi-perennes, alternas y agrupadas; flores diminutas y verdosas; frutos pequeños (drupas), redondeados de color rojo-naranja; planta de 0.9 a 2 m de altura. Crece en suelos arcillosos y en laderas rocosas, asociándose con otras especies de matorral (Everitt y Drawe, 1993; Taylor *et al.*, 1999).

Utilidad – esta planta es tolerante a la sequía y ocasionalmente es ramoneada por el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*). Sus frutos son consumidos por aves, como la codorniz cola blanca (*Colinus virginianus*), la codorniz escamosa (*Callipepla squamata*), el reyezuelo de los cactus (*Campylorhynchus brunneicapillus*); y pequeños mamíferos, como coyotes (*Canis latrans*), y ratas del monte (*Neotoma micropus*) también consumen sus frutos. Los pájaros ocasionalmente anidan en estos arbustos. También es importante mencionar que estos arbustos proporcionan un ramoneo limitado a ovinos, caprinos y bovinos (Everitt y Drawe, 1993; Taylor *et al.*, 1999).

En México, la raíz ha sido reportada como de uso medicinal para curar enfermedades venéreas. Debido a que su follaje está siempre verde y sus frutos son rojizos, frecuentemente se le utiliza como ornamento o para formar setos (Taylor *et al.*, 1999).

Área de distribución - este arbusto se encuentra en el suroeste y oeste de Texas, también crece en México en los estados de Coahuila y Nuevo León (Vines, 1976).

Forestiera angustifolia Torr.

Descripción – arbusto comúnmente llamado panalero, olivo del desierto y chaparral blanco; presenta una altura de 0.9 a 2.5 m; sin espinas; con ramas intrincadas y tiesas y con un corto tronco encorvado; de hojas simples, perennes, de forma algo redonda y agrupadas en los nudos; flores amarillo-verdosas y producidas en grupos; el fruto es una drupa color púrpura a negro. Es un componente de matorrales mixtos y usualmente se encuentra en laderas bien drenadas, pendientes rocosas y arroyos completamente soleados (Everitt y Drawe, 1993; Taylor *et al.*, 1999).

Utilidad – el venado cola blanca, ovinos, bovinos y caprinos ramonean el follaje, y el fruto es consumido por muchos mamíferos, entre los que se encuentran mapaches (*Procyon lotor*), coyotes (*Canis latrans*), zorros (*Vulpes velox*), conejos (*Lepus californicus* y *Sylvilagus floridanus*), ardillas (*Spermophilus sp.*), ratas (*Neotoma micropus*) y ratones (*Peromyscus*

bolylii); también consumen el fruto algunas aves como la codomiz cola blanca (*Colinus virginianus*), la codomiz escamosa (*Callipepla squamata*), la paloma de alas blancas (*Zenaida asiatica*) y numerosos pájaros cantores. La planta sirve también como una especie de dosel a algunos animales, para cubrirse de predatores y es una importante fuente de alimento para las abejas (Everitt y Drawe, 1993; Taylor *et al.*, 1999). Se le utiliza como un arbusto ornamental, especialmente en suelos salinos o calizos y en áreas expuestas al viento (Taylor *et al.*, 1999).

Área de distribución - en Texas se localiza en el centro, al oeste y en la porción sureste. En México en los estados de Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila (Stewart y Marshall, 1970; Vines, 1976).

Karwinskia humboldtiana (R. & S.) Zucc.

Descripción – arbusto conocido con los nombres de coyotillo y tullidora, presenta comúnmente una altura de 0.6 a 1.5 m (alcanzando hasta 6 m en lugares húmedos); sin espinas; de hojas perennes, oblongas, verde oscuras y con venas muy marcadas; flores pequeñas y verdosas; el fruto es una drupa café o negro. Esta planta crece comúnmente en el oeste y suroeste de Texas en todos los tipos de suelo y hábitats, pero prefiere áreas secas y suelos poco profundos, frecuentemente crece en asociación con el guajillo (*Acacia berlandieri*) y a la sombra de matorrales (Everitt y Drawe, 1993;Taylor *et al.*, 1999).

Utilidad – el coyotillo es una planta tóxica, por lo que tiene poco valor para la vida silvestre. Las semillas son extremadamente tóxicas y se conoce que afecta al sistema nervioso, causando parálisis en las extremidades de humanos y animales domésticos. Algunos mamíferos y pájaros, tales como coyotes (*Canis latrans*) y chachalacas (*Ortalis vetula*), consumen sus frutos. Las semillas y hojas son venenosas para bovinos, ovinos, cabras, caballos y cerdos, por lo que la planta es ramoneada únicamente en condiciones de extrema sequía (Everitt y Drawe, 1993; Taylor *et al.*, 1999).

En México, las hojas y raíz de esta planta si son hervidas (se hacen menos tóxicas) se les puede utilizar para tratar fiebres. También se usa como planta de ornato y de paisaje, especialmente en áreas secas, jardines rocosos y paisajes áridos (Taylor *et al.*, 1999). Aunque su madera es fuerte y dura, no tiene valor comercial.

Área de distribución – en EUA en Texas, y en México, se encuentra en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán, Oaxaca y Baja California; localizándose también al sur de América Central (Stewart y Marshall, 1970; Vines, 1976).

Larrea tridentata DC.

Descripción – planta arbustiva conocida comúnmente como gobernadora, de 0.6 a 2 m de altura; sin espinas; de un olor parecido a la creosota; con hojas perennes, las cuales tienen dos pequeñas hojuelas oblongas, resinosas; flores amarillentas; fruto pequeño, redondo, con fina vellosidad de color blanco. Es un arbusto común del desierto y de regiones semiáridas, lo que indica que crece en suelos poco profundos y a la vez pobres, debido al sobrepastoreo que existe en esas áreas calientes y secas. Este tipo de planta se localiza al suroeste de Texas y usualmente no se asocia estrechamente con otras especies de plantas (Stewart y Marshall, 1970; Everitt y Drawe, 1993; Taylor *et al.*, 1999).

Utilidad – la gobernadora no tiene valor para ser ramoneada, ya que es tóxica para ovinos y bovinos; sin embargo, puede ser ramoneada por el venado cola blanca y las cabras en temporada de sequía, también se ha observado que pequeños mamíferos, incluyendo ardillas del suelo (*Spermophilus sp.*), consumen las semillas y el fruto, utilizando también a la planta como una cubierta protectora; dentro de las aves, el colibrí (una de las especies es Colibri thalassinus) se beneficia del néctar de sus flores (Everitt y Drawe, 1993; Taylor *et al.*, 1999).

En América hay reportes de que las yemas encurtidas en vinagre pueden ser consumidas por el hombre. Extracciones de hojas, se han utilizado en medicina como antiséptico, para tratar el reumatismo, enfermedades venéreas, tuberculosis y desórdenes intestinales.

Esta planta tolera la sequía, y por sus flores se le ha utilizado como planta de ornato, o como arbusto de paisaje, especialmente cuando se mezcla con otras plantas de regiones semiáridas del suroeste de Texas (Taylor *et al.*, 1999). De sus ramas los indios obtienen una laca que utilizan como cemento para trabajos de alfarería y un tinte para teñir pieles.

En EUA, este arbusto se encuentra en Texas, Nuevo México, Utha, Arizona, Nevada y California. En México se encuentra principalmente en los estados de Coahuila, Nuevo León, Durango, Querétaro, Zacatecas y San Luis Potosí (Stewart y Marshall, 1970; Vines, 1976).

Acacia wrightii Benth

Descripción – conocida comúnmente como uña de gato por tener espinas curvas; es un arbusto o frecuentemente pequeño árbol; con una altura que varía comúnmente de 2 a 3 m y a veces hasta 9 m; tallo de 30 cm de diámetro; hojas pinnadas, frecuentemente fasciculadas; flores de color blanco-cremoso, en espigas de casi 1 cm de grueso; vainas aplanadas, delgadas, de 5 a 8 cm de largo y de color café-rojizo. Se localiza frecuentemente en chaparrales y bosques a lo largo de riachuelos y cañones en el sur y suroeste de Texas (Vines, 1976; Everitt y Drawe, 1993).

Utilidad - el polen producido por las flores es un importante alimento para las abejas y una fuente de néctar para la miel. En Texas se le utiliza como árbol de ornato, especialmente en áreas secas del estado. La madera se utiliza frecuentemente como combustible en forma de leña o carbón, y para hacer postes, los cuales se pueden usar para formar cercas o vallas (Vines, 1976; Everitt y Drawe, 1993).

Área de distribución – crece en el estado de Texas (EUA) y en México se encuentra en los estados de Sonora, Nuevo León y Tamaulipas (Vines, 1976).

B) PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES Y DE LABORATORIO

Preparación del material vegetal para su análisis de laboratorio

Una vez que el material vegetal fue colectado, se secó a la sombra de un cobertizo a temperatura ambiente durante 15 días, posteriormente las hojas fueron separadas de las ramas en forma manual y luego se pasaron por una criba para liberarlas de impurezas, posteriormente se molieron en un molino Willey provisto de una malla con poros de 2 mm de diámetro y una vez que el material fue molido se colocó en recipientes de plástico para su posterior análisis. De muestras obtenidas de cuatro repeticiones, por especie y en cada estación, se hicieron las determinaciones de materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), celulosa, hemicelulosa, lignina, cenizas, cenizas insolubles, taninos condensados, energía, Ca, Mg, K, Na, P, Cu, Mn, Fe, Zn, digestibilidad *in situ*, degradabilidad efectiva de materia seca (DEMS), degradabilidad efectiva de proteína cruda (DEPC), y degradabilidad efectiva de fibra detergente neutro (DEFDN).

Determinación de materia seca (AOAC, 1960)

Para la determinación del porcentaje de materia seca se colocaron cápsulas de aluminio en una estufa de aire a una temperatura de 105°C durante toda la noche. Al día siguiente se sacaron las cápsulas y se colocaron en un desecador para su enfriamiento, posteriormente se registró el peso de cada cápsula y a cada una de ellas se les colocó 1 gramo de muestra vegetal. Las cápsulas con el material se volvieron a introducir en la estufa a una temperatura de 105 °C durante 12 horas. Después de ese tiempo las cápsulas con las muestras se enfriaron en un desecador para luego pesarlas.

El cálculo para obtener el porcentaje de MS fue el siguiente:

$$\% \text{ MS} = \frac{[A-B]}{C} \times 100$$

Donde :

A = peso de cápsula + muestra seca

B = peso de cápsula

C = peso de la muestra

La misma fórmula, pero sin multiplicar por cien, se utilizó como el factor de materia seca (FMS), para reportar los cálculos de los demás nutrientes en base seca (BS).

Determinación de cenizas (AOAC, 1965)

Para la determinación del porcentaje de cenizas, se siguieron los mismos pasos relacionados con la obtención de MS, pero una vez que se retiraron las cápsulas con las muestras de la estufa se pasaron a una mufla donde fueron incineradas a una temperatura de 550°C por 5 horas, posteriormente se enfriaron en un desecador y luego se pesaron.

El cálculo para la obtención del porcentaje de cenizas fue el siguiente:

$$\% \text{ de Cenizas en BS} = \frac{[A-B]}{[C \times D]} \times 100$$

Donde:

A = peso de cápsula + ceniza

B = peso de la cápsula

C = peso de la muestra

D = FMS (Factor de materia seca)

Determinación de materia orgánica (AOAC, 1965)

Para la obtención del porcentaje de materia orgánica en base seca se hizo el siguiente cálculo:

% de MO en BS = 100 - % de cenizas BS.

Determinación de proteína cruda (Scales y Harrison, 1920)

Entre los compuestos químicos, a las proteínas se les considera entre los más importantes, puesto que son las sustancias de la vida, debido a que constituyen gran parte del cuerpo de un animal; lo mantienen como una unidad y lo hacen funcionar. Estos compuestos se encuentran en toda célula viva, y son el material principal de la piel, músculos, tendones, nervios, sangre, enzimas, anticuerpos y muchas hormonas. Se llama proteína cruda al valor que resulta de multiplicar el contenido de nitrógeno de los alimentos por el factor de conversión más común para proteínas que equivale a 6.25.

Para la determinación de la proteína cruda se siguió la técnica Micro-Kjeldahl, que consta de los siguientes pasos: Se pesaron 0.2 g de muestra de cada especie y se transfirieron a matraces Micro-Kjeldahl. Se añadieron 6 ml de H_2SO_4 a cada matraz. A cada matraz se le añadió una cuchara sopera de una mezcla catalizadora (sulfato de potasio y cobre). Se Calentaron los matraces en parrillas eléctricas para digerir las muestras. Después del enfriamiento de los matraces se agregaron 20 ml de agua destilada y algunos granos de zinc, después a los matraces se les añadió 20 ml de NaOH al 40%. Posteriormente los matraces se colocaron en un destilador para darle un tratamiento al contenido. En matraces Erlenmeyer se colocaron 20 ml de ácido bórico al 4% y 1 o 2 gotas de indicador rojo de metilo-verde de bromocresol, para colectar 30 ml de destilado. La titulación se hizo con HCl 0.1N.

El cálculo del porcentaje de nitrógeno (N) y proteína cruda (PC) en base seca, se hicieron *de acuerdo con las siguientes fórmulas*:

$$\% \text{ N} = \frac{[A \times B \times C]}{[D \times E]} \times 100$$

A = ml de HCl utilizados en titulación

B = 0.1 (Normalidad de HCl

C = 0.014

D = peso de la muestra

E = FMS

% PC = % N x 6.25

Determinación de fibra detergente neutro (Van Soest y Wine, 1967)

La FDN es el residuo orgánico combustible e insoluble que queda después de que la muestra fue tratada con sulfato lauril sódico en ebullición. Este detergente extrae de la célula el material soluble y solo deja lo que no es totalmente aprovechable o lo que solo es utilizado por los microbios del rumen. Las fracciones principales de la FDN son celulosa, hemicelulosa y lignina, además de algunas proteínas, minerales y cutícula. Además, el porcentaje de la FDN es el peso del residuo expresado como un porcentaje de la muestra original.

La determinación de la FDN se hizo de la siguiente manera: Se lavaron los crisoles (adaptados con filtro de vidrio) con agua destilada y H_2SO_4 al 10%, luego se les dio tratamiento a los crisoles en una mufla a 550°C por 2 horas. Después se enfriaron los crisoles en un desecador durante 1 hora y se registraron sus pesos. Se pesó 1 g de muestra vegetal, después se vaciaron las muestras en vasos Berzelius de 600 ml junto con 100 ml de solución FDN (solución neutra detergente) y 2 ml de decahidronaftaleno. Posteriormente se colocaron los vasos en un digestor de fibra y se hirvieron durante 1 hora. Después de ese tiempo se vació el material hervido en los crisoles registrados y se hizo su extracción por

succión al vacío y al mismo tiempo se lavó el material y los crisoles con agua destilada a 80°C y acetona en forma alterna, luego se secaron los crisoles en una estufa a 105°C durante 12 horas. Después del enfriamiento de los crisoles en un desecador se registraron sus pesos.

El cálculo del porcentaje de FDN en base seca se hizo de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ FDN en BS} = \frac{[A-B]}{[C \times D]} \times 100$$

Donde:

A = peso del crisol + fibra
B = peso del crisol
C = peso de la muestra
D = FMS

Determinación de fibra detergente ácido (Van Soest, 1963)

Para la determinación de la FDA las muestras de alimento son hervidas en una solución conteniendo H_2SO_4 y el detergente cetyl trimetil bromuro de amonio. La hemicelulosa y proteínas de la pared celular son disueltas con la solución y el residuo que queda contiene principalmente celulosa y lignina, además de sílice, cutina y algunas pectinas.

Para la determinación de esta fracción alimenticia se utilizó el siguiente procedimiento: Se lavaron los crisoles (adaptados con filtro de vidrio) con agua destilada y H_2SO_4 al 10%, posteriormente se les dio tratamiento en una mufla a 550°C por 2 horas, y después de su enfriamiento en un desecador durante 1 hora se registraron sus pesos. Se pesó 1 g

de muestra vegetal, luego se vaciaron las muestras en vasos Berzelius de 600 ml junto con 100 ml de solución FDA (solución ácido detergente) y 2 ml de decahidronaftaleno. Se colocaron los vasos en un digestor de fibra y se hirvieron durante 1 hora, después se vació el material hervido en los crisoles registrados y se hizo su extracción por succión al vacío y al mismo tiempo se lavó el material y los crisoles con agua destilada a 80°C y acetona en forma alterna. Después se hizo el secamiento de los crisoles en una estufa a 105°C durante 12 horas. Para finalizar con el enfriamiento de los crisoles en un desecador y registro de sus pesos (Nota: el residuo de cada muestra se guardó para la siguiente práctica).

El cálculo del porcentaje de FDA se hizo de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ FDA en BS} = \frac{[A-B]}{[C \times D]} \times 100$$

Donde:

A = peso del crisol + fibra
B = peso del crisol
C = peso de la muestra
D = FMS

Determinación de lignina (Van Soest, 1963)

Para la obtención de esta fracción de la fibra, se utiliza el residuo que quedó después de haberse utilizado la técnica para la obtención de la FDA. Como la FDA consiste principalmente de lignocelulosa, al utilizar una solución de H_2SO_4 al 72% se disuelve y separa la celulosa del compuesto, quedando la lignina y la ceniza no soluble en ácido.

Para la determinación de la lignina se utilizó el siguiente procedimiento: Los crisoles que contenían el residuo de FDA se llenaron con H_2SO_4 al 72%, se agitó el contenido con

una varilla para producir una mezcla, al mismo tiempo se dejó drenar el ácido, y se repitió esto dos veces más. Después de 3 horas se filtró todo el ácido por medio de vacío y se repitió la operación una vez más, luego se lavó el contenido de los crisoles con agua caliente (85–95°C) hasta liberarlo del ácido. Después se procedió al secamiento de los crisoles durante 12 horas a 105°C, y posteriormente se registraron sus pesos. Por último se incineró el contenido de los crisoles en una mufla a 550°C durante 3 horas, para después de enfriarlos en un desecador, registrar sus pesos.

El cálculo se hizo de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Lignina en BS} = \frac{[A-B]}{[C \times D]} \times 100$$

Donde:

A = peso del crisol + lignina + cenizas
B = Peso del crisol + cenizas
C = Peso de la muestra
D = FMS

Determinación de hemicelulosa

La obtención del porcentaje de hemicelulosa en base seca, se obtuvo por la diferencia entre el porcentaje de FDN en BS y el porcentaje de FDA en BS.

Determinación de celulosa

La obtención del porcentaje de celulosa en base seca, se obtuvo por la diferencia entre el porcentaje de FDA en BS y el porcentaje de lignina en BS.

Determinación de cenizas insolubles

Estas cenizas son las que quedan después de haber incinerado el residuo (lignina + minerales) que quedó después de haber utilizado H_2SO_4 al 72%.

Su cálculo se hizo de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Cenizas insolubles en BS} = \frac{[A-B]}{[C \times D]} \times 100$$

Donde:

A = peso del crisol + cenizas
B = peso del crisol
C = peso de la muestra
D = FMS

Determinación de taninos condensados (Burns, 1971; Price *et al.*, 1978)

Procedimiento: Se pesaron 0.5 g de muestra por cuadruplicado (por especie y por estación) y se colocaron en tubos de ensayo (tubos de plástico de 15 ml con tapón), donde se realizó la extracción con 10 ml de HCl al 1% en metanol por 20 min (se colocaron los tubos en la gradilla y se taparon, luego se agitaron manualmente por inversión por 20 min), después se centrifugaron a 1000 rpm por 10 min. Después de esto, de cada tubo problema se tomó 1 ml y se colocaron en tubos de ensayo para cuatro repeticiones y el que sirvió como blanco. Posteriormente a cada tubo se le añadieron 5 ml del reactivo de vainillina/HCl (Vainillina al 4% en metanol y HCl al 8% en metanol, los cuales se disolvieron en partes iguales), y al tubo que sirvió como blanco se le añadieron 5 ml de HCl al 4% en metanol. En seguida los tubos se colocaron en baño María a una temperatura de 30°C por espacio de 20

minutos, después de secarse se agitaron y se tomó la lectura de su absorbancia en un espectrofotómetro a 500 nm.

Curva de calibración para taninos:

Los estándares se prepararon en matraces de aforación de 10 ml, a los cuales se les añadió 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 4.0 ml de solución estándard (100 mg de catequina y metanol con aforación en un matraz de un litro), donde su absorbancia sirvió como X, y los cuales corresponden a concentraciones de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.8 mg/ml equivalentes de catequina, que son los valores de Y (el stock 2 mg ml^{-1}, y lo estándares que se diluyeron a 10 ml).

Los resultados se expresan como equivalentes de catequina (mg E.C. 0.1^{-1} g de materia seca) o en porcentajes.

Determinación de energía bruta (EB), (Harris, 1970)

Material utilizado para medir el calor de combustión

1. *Bomba calorimétrica marca Parr, modelo* 1241, *con unidad de ignición, con* depósito exterior de agua, depósito interior de agua, bomba de oxígeno modelo 1108, y termómetros Beckmann de mercurio con graduaciones de una centésima de grado centígrado.
2. Alambre de ignición.
3. Oxígeno.
4. Prensa pastilladora.
5. Aparatos enfriador y calentador de agua, para el depósito exterior de la bomba calorimétrica.

La determinación de energía bruta se hizo de acuerdo con la siguiente metodología: Con la ayuda de la prensa pastilladora se formó una pastilla de la muestra (peso aproximado 0.3–0.9 g), y se registró su peso (exactitud ±0.0001 g). Se fijó un alambre de ignición de 10 cm de largo a ambas terminales de la cabeza de la bomba de oxígeno, y la pastilla se colocó

dentro de la cazuelita de la bomba de oxígeno, donde quedó apoyada por el alambre de ignición, en seguida la bomba de oxígeno se cerró con su tapa de rosca, se cerró la válvula de escape de gas de la bomba , y se llenó con flujo muy lento de oxígeno, hasta alcanzar 20 atmósferas (medidas con el manómetro del tanque de oxígeno). Se depositaron 2000 ml de agua destilada a temperatura entre 25 y 26°C en el depósito interior; se colocó con cuidado la bomba de oxígeno dentro del depósito interior de agua; después de cerrar la tapa de la bomba, se igualó la temperatura del agua del depósito exterior con la del depósito interior, y se registró la temperatura inicial. Después de accionar el botón de ignición se fue ajustando la temperatura del depósito exterior a la del depósito interior, luego se registró la temperatura alcanzada, cuando después de tres lecturas a intervalo de 1 min no se observó cambio (La temperatura final, ocurre generalmente después de 10–15 min). Una vez que se retiró la bomba de oxígeno se registró el largo del resto de alambre que no fue incinerado, y por diferencia de 10 cm, se calculó el largo del alambre que fue quemado. En seguida se enjuagó toda la superficie interna de la bomba con una corriente de agua destilada neutra y se recogió en un vaso de precipitado limpio (Para determinar la cantidad de ácido formado proveniente de la oxidación incidental de compuestos nitrogenados y azufrados), después se tituló el agua de lavado con una solución estandarizada de carbonato de sodio, empleando como indicador naranja de metilo, y con esto se realizó una corrección para tomar en cuenta el calor que fue liberado en la formación del ácido.

El contenido de energía de la muestra (cal g^{-1}) se calculó de la siguiente forma:

$$\text{Energía bruta (cal g}^{-1}) = \frac{[(A \times B \times C)] - [(D \times E)] - F}{G}$$

Donde:

A = 2000 ml

B = equivalente del agua

C = diferencia de temperatura

D = longitud de alambre quemado (cm)

E = 2.3 cal cm^{-1}

F = ml Na_2CO_3

G = peso de la muestra (g)

El equivalente del agua es el número de calorías requeridas por la bomba calorimétrica para cambiar la temperatura de 2000ml de agua destilada en un grado centígrado, el cual se determinó utilizando una pastilla de ácido benzoico, cuyo peso se registró, y la misma tenía un contenido calórico conocido de 6318 cal g^{-1}.

Preparación de cenizas para determinar minerales (Fasley *et al.*, 1965)

La preparación de las cenizas se hizo de acuerdo con el siguiente método: 1.0 g de cada muestra de planta, por cuadruplicado por especie y por estación fueron incineradas en una mufla a una temperatura de 550°C durante 5 horas. Las cenizas una vez que se enfriaron, se vertieron en vasos de precipitado de 100 ml, al cual se le agregaron 5 ml de HCl concentrado, 20 ml de agua bidestilada y 10 gotas de HNO_3 concentrado. El contenido de los vasos se calentó a 100°C (bajo una campana para gases) hasta reducir el volumen a 10 ml aproximadamente. Una vez retirados los vasos, se les agregó 10 ml de agua bidestilada y se calentaron de nuevo por 2 a 3 minutos. Después de enfriada la solución se filtró a través de un papel filtro Wathman no. 40, usando un embudo de espiga larga para recoger el filtrado en un matraz de aforación de 50 ml, después se lavó el vaso de precipitado y el papel filtro 2 o 3 veces con pequeñas porciones de agua bidestilada. Se llevó la solución filtrada a un volumen de aforación de 50 ml con agua bidestilada. Se guardo la solución de cada muestra en un refrigerador (con una identificación) mientras se preparaba el material para la determinación de minerales.

Determinación de minerales

El contenido de P fue estimado en un colorímetro (AOAC, 1990), mientras que las concentraciones de Ca, Mg, K, Na, Zn, Mn, Cu y Fe se cuantificaron por medio de un

espectrofotómetro de absorción atómica marca Varian (modelo Spectr AA-200). Partiendo de estándares comerciales para cada elemento, se obtuvo una curva estándard para cuantificar la concentración de cada elemento en la solución de cada muestra de especie, repetición y estación del año. Para el caso de los estándares de Ca y Na se utilizó KCl como fuente de supresor a una concentración de 2000 ppm de K, y de esta manera contrarrestar el efecto ionizante. Para el Mg, se utilizó $LaCl_3$ a una concentración final de 1000 ppm de La, y para el K se utilizó CsCl a una concentración final de 1000 ppm de Cs. Estos supresores de la ionización también fueron añadidos a las muestras que se analizaron. En el Anexo 5 se muestran los parámetros optimizados del espectrofotómetro que se emplearon para determinar la concentración de cada elemento.

Técnica de digestibilidad *in situ* aplicada

La tasa y grado de desaparición de la MS, PC y FDN (de cada una de las 9 especies de plantas estudiadas) contenidas en bolsas nylon, fueron evaluadas usando 5 borregos raza Pelibuey canulados del rumen (con un peso aproximado de 45 Kg). Cuatro borregos, en cada estación, fueron usados para evaluar cada especie de planta. Los borregos fueron alimentados con alfalfa *ad libitum*. 4.0 g de material molido (cribados a 2 mm) fueron colocados en bolsas nylon (5 x 10 cm, con poros de 53 μm) y suspendidas en la parte ventral del rumen de cada borrego. Las bolsas fueron incubadas por 4, 8, 12, 24, 36 y 48 h. Después de ser removidas del rumen, las bolsas fueron lavadas en agua fría. El tiempo cero de desaparición del material fue obtenido por el lavado de las bolsas que no fueron incubadas en el rumen. Las bolsas se secaron a 60°C en una estufa. La pérdida de peso fue registrada como MS. La digestibilidad *in situ* de la MS, PC y FDN (DISPC) de cada periodo de incubación fue calculado como sigue (Ash, 1990):

$$\text{Digestibilidad } in\ situ\ (\%) = \frac{[A-B]}{A} \times 100$$

Donde:

A = peso inicial de la muestra

B = peso final de la muestra

Para la obtención de los valores (%) de desaparición de la MS, PC y FDN en cada tiempo de incubación, se utilizó la ecuación de Ørskov y McDonald (1979): $p = a + b (1 - e^{-ct})$, donde **p** es el porcentaje de desaparición de la MS, PC o FDN en un tiempo **t**, **a** es la fracción de la muestra que se pierde en el lavado, **b** es la fracción insoluble que es degradada lentamente en el rumen, **c** es una tasa constante de desaparición de la fracción **b**, y **t** es el tiempo de incubación. Los parámetros no lineales **a**, **b** y **c** y la degradabilidad efectiva de la materia seca (DEMS), proteína cruda (DEPC) y fibra detergente neutro (DEFDN)), fueron calculados, usando la ecuación de McDonald (1981), la cual se encuentra integrada en el programa Neway; la cual establece que la degradabilidad efectiva (**DE**) = $(a+b)c/(c+k)(e^{-(c+k)t})$, donde **k** es la tasa estimada del flujo fuera del rumen y **t** es el tiempo de *retardo para que las bacterias inicien la degradación de la muestra en el rumen.* La DEMS, DEPC y DEFDN de las hojas de arbustivas y *M. sativa* fueron estimadas suponiendo una tasa de flujo ruminal de sólidos de 2% h^{-1}, la cual se considera como un ritmo de flujo lento (ARC, 1984).

Análisis estadístico aplicado

Los valores relacionados con la variación estacional de los nutrientes y la digestibilidad *in situ* de la MS, PC y FDN de las plantas, fueron analizados utilizando un diseño de bloques al *azar, donde los bloques fueron las estaciones y las plantas arbustivas los tratamientos. Para* conocer si existian diferencias significativas entre los valores promedio de las estaciones en cada espacie, se utilizó la prueba de comparación múltiple de Tukey. Además, los valores relacionados con el contenido estacional de nutrientes fueron correlacionados con los valores estacionales de degradabilidad efectiva de la MS, PC y FDN (Zar, 1996). Los análisis estadísticos fueron realizados usando el paquete SAS (1988).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A) CONTENIDO ESTACIONAL DE NUTRIENTES EN EL FOLLAJE DE ARBUSTIVAS

Materia seca (MS)

En las cuatro estaciones evaluadas todas las especies de plantas arbustivas presentaron diferencias significativas ($P<0.001$) en su contenido de MS (Anexo 6), además las especies que durante el año tuvieron un contenido de MS superior a 50% fueron: *C. texana* (70.6%), *F. angustifolia* (54.3%), *L. tridentata* (55.4%) y *S. cuneifolia* (65.3%). Además, en invierno y otoño las arbustivas presentaron los niveles más altos de MS, mientras que en primavera y verano las especies de arbustivas presentaron un menor contenido de este nutriente, el cual puede ser atribuido, a que cuando se hizo la colecta de las plantas, sus tejidos se encontraban en estado de crecimiento, con un buen nivel de nitrógeno y con mayor humedad (Minson y Wilson, 1994), debido a que en estas dos estaciones se presentó la más alta precipitación pluvial. Debido a esta situación es probable que en otoño e invierno el consumo voluntario del follaje de estas arbustivas disminuya debido a que tienen un menor contenido de humedad (John y Ulyatt, 1987).

Materia orgánica (MO)

Durante el año de estudio todas las especies presentaron diferencias significativas ($P<0.001$) en su contenido de MO entre las estaciones (Anexo 7). La mayoría de las especies arbustivas evaluadas presentó su rango mayor en primavera y verano. La media anual de MO fue mayor en *C. texana* (91.6%), *F. angustifolia* (91.3%), *A. wrightii* (91.0%) y *B. celastrina* (91.2%). En cambio, *S. cuneifolia* (82.3%), fue la única especie que no presentó una media anual comparable o superior a *M. sativa* (86.7%). Sin embargo *S. cuneifolia* junto

con *K. humboldtiana*, *L. tridentata* y *Z. fagara* se pueden considerar como buenas fuentes de nutrientes minerales.

Proteína cruda (PC)

El contenido de PC de las especies de plantas evaluadas varió significativamente (P<0.01) durante las estaciones del año (Cuadro 2), y en la mayoría de las especies de plantas arbustivas fue más alto en primavera, presentando los valores más altos en esta estación *K. humboldtiana* (25.9%), *Z. fagara* (25.8%), y *A. wrightii* (24.1%), las cuales superaron el nivel alcanzado por *M. sativa* (23.4%). La mayoría de los rangos menores se obtuvieron en otoño, y ninguna arbustiva alcanzó el nivel de *M. sativa* (19.0%), sin embargo los valores más altos fueron de *A. wrightii* (18.5%) y *Z. fagara* (18.8%). Con respecto a las medias anuales *A. wrightii* (21.8%), *K. humboldtiana* (20.7%) y *Z. fagara* (21.3%), tuvieron un contenido de PC superior a la alfalfa (19.3%).

Cuadro 2. Variación estacional del contenido de proteína cruda (%) del follaje de las especies evaluadas.

	Estaciones					
Especies	**Invierno**	**Primavera**	**Verano**	**Otoño**	**[1]Medias ± EE**	**Sig.**
A. wrightii	23.4 [a]	24.1 [a]	21.3 [b]	18.5 [c]	21.8 ± 0.6	***
B. celastrina	18.3 [a]	18.2 [a]	15.4 [c]	16.7 [b]	17.2 ± 0.3	***
C. texana	14.3 [b]	15.2 [a b]	16.2 [a]	14.3 [b]	15.0 ± 0.5	**
F. angustifolia	17.3 [a]	21.3 [b]	19.1 [c]	11.9 [d]	17.4 ± 0.5	***
K. humboldtiana	20.8 [b]	25.9 [a]	18.4 [c]	17.5 [c]	20.7 ± 0.7	***
L. tridentata	16.5 [b]	18.2 [a]	17.2 [a b]	17.6 [a b]	17.4 ± 0.4	**
S. cuneifolia	12.3 [c]	15.3 [b]	18.4 [a]	14.2 [b]	15.0 ± 0.5	***
Z. fagara	19.6 [c]	25.8 [a]	21.0 [b]	18.8 [c]	21.3 ± 0.3	***
M. sativa	18.2 [bc]	23.4 [a]	16.6 [c]	19.0 [b]	19.3 ± 0.6	***

[1]Base seca; **(P<0.01); ***(P<0.001); EE = error estándar; Sig. = significancia; [abcd]Medias estacionales de las hileras con letras diferentes no son iguales.

Se ha documentado que el contenido de PC de las plantas disminuye a medida que se incrementa la madurez de las plantas (Devasena *et al.*, 1994), sin embargo, la mayoría de las plantas evaluadas tuvo un mayor contenido de PC en invierno que en otoño debido a que todas las colectas se realizaron al final de cada estación. Cuando se hizo la colecta de invierno la mayoría de las arbustivas ya habían iniciado la renovación de su follaje. Durante la temporada de sequía, generalmente el forraje de árboles y arbustos tienen un alto contenido de PC en comparación a los zacates (Neira *et al.*, 1994), y el ramoneo de árboles y arbustos durante esta época es considerado como un suplemento proteico para rumiantes domésticos y de vida silvestre (Ramírez *et al.*, 1997). Además, el contenido de PC en las plantas arbustivas es alto comparado con los zacates, y es relativamente constante a través del año (Norton y Poppi, 1995).

Fibra detergente neutro (FDN)

Como se muestra en el Cuadro 3, el contenido de FDN de las especies de arbustivas, varió significativamente ($P<0.01$) durante las cuatro estaciones del año. La mayoría de las plantas arbustivas alcanzaron los valores más altos de FDN en primavera, y las arbustivas que presentaron un valor superior a *M. sativa* (45.9%) fueron *F. angustifolia* (50.9%) y *S. cuneifolia* (47.6%). En otoño, la mayoría de las arbustivas tuvieron los rangos estacionales más bajos, los cuales fueron inferiores al de *M. sativa* (46.0%). La media anual de FDN de todas las arbustivas fue menor a *M. sativa* (49.2%), presentando los valores más bajos *L. tridentata* (21.9%) y *Z. fagara* (32.2%).

El hecho de que las arbustivas hayan tenido un mayor contenido de FDN en primavera y verano pudo deberse, en parte, a que en estas dos estaciones se presentaron las mas altas temperaturas del año, llegándose a registrar temperaturas máximas por encima de 40°C (Figuras 5,6 y 7), por lo que esto pudiera estar relacionado con lo explicado por Buxton y Casler (1993).

Cuadro 3. Dinámica estacional del contenido de fibra detergente neutro (%) del follaje de las arbustivas evaluadas.

	Estaciones				
Especies	**Invierno**	**Primavera**	**Verano**	**Otoño**	**[1]Medias ± EE Sig.**
A. wrightii	50.3 [a]	41.8 [a b]	43.6 [b]	39.2 [c]	43.7 ± 1.0 ***
B. celastrina	35.3 [a]	35.7 [a]	34.5 [a]	28.5 [b]	33.5 ± 0.9 ***
C. texana	41.9 [b]	45.7 [a]	43.1 [b]	43.0 [b]	43.4 ± 0.7 ***
F. angustifolia	40.6 [b]	50.9 [a]	40.3 [b]	34.8 [c]	41.6 ± 1.3 ***
K. humboldtiana	34.9 [b]	39.8 [a]	37.3 [a b]	34.5 [b]	36.6 ± 1.3 **
L. tridentata	23.6 [a]	26.7 [a]	18.8 [b]	18.3 [b]	21.9± 1.0 ***
S. cuneifolia	37.8 [d]	47.6 [b]	51.0 [a]	41.2 [c]	44.4 ± 0.8 ***
Z. fagara	25.7 [c]	40.1 [a]	32.6 [b]	26.3 [c]	32.2 ± 1.0 ***
M. sativa	53.4 [a]	45.9 [b]	51.5 [a]	46.0 [b]	49.2 ± 1.1 ***

[1]Base seca; **(P<0.01); ***(P<0.001); EE = error estándar; Sig. = significancia; [abcd]Medias estacionales de las hileras con letras diferentes no son iguales.

Las plantas arbustivas con bajo contenido de FDN tienen relativamente un mayor valor nutritivo en comparación con los zacates (Lowry *et al.*, 1992). Los forrajes en crecimiento vegetativo tienen menor contenido de FDN que cuando estos llegan a su madurez, y las hojas de leguminosas que crecen en pastizales son generalmente más digestibles que sus tallos (Minson, 1990). Como el contenido de FDN en todas las arbustivas fue inferior al de *M. sativa*, esto representa una ventaja para el rumiante ya que el follaje de las mismas pudiera ser digerido más fácilmente y en mayor cantidad.

Fibra detergente ácido (FDA)

Con excepción de *C. texana*, el resto de las especies arbustivas presentó diferencias significativas (P<0.01) en las cuatro estaciones del año (Anexo 8). El contenido de FDA (ligno-celulosa) en las plantas arbustivas fue más alto en primavera, sin embargo el contenido de este tipo de fibra en *F. angustifolia* (23.2%), *K. humboldtiana* (25.3%), *L.*

tridentata (23.5%) y *Z. fagara* (21.8%) fue inferior al de *M. sativa* (28.2%); en cambio, en otoño las arbustivas tuvieron el menor contenido de FDA, presentando todas un nivel inferior a la alfalfa (33.8%) y también la media anual de FDA de todas las arbustivas fue inferior a *M. sativa* (33.7%). El hecho de que las arbustivas hayan mostrado un mayor contenido de FDA en primavera pudo deberse a que al final de la estación que es cuando se hizo la colecta, las plantas habían acumulado una mayor cantidad de días en esa estación recibiendo altas temperaturas, y se conoce que a temperaturas altas se incrementa la síntesis de FDA, celulosa y sílice (Nelson y Moser, 1994).

Celulosa

De las especies de arbustivas evaluadas solamente *B. celastrina* y *K. humboldtiana* no presentaron diferencias significativas (P>0.05) en el contenido de celulosa en las cuatro estaciones del año (Cuadro 4).

Cuadro 4. Variación estacional del contenido de celulosa (%) de las especies evaluadas.

	Estaciones				
Especies	**Invierno**	**Primavera**	**Verano**	**Otoño**	**[1]Medias ± EE Sig.**
A. wrightii	16.7 [bc]	19.5 [a]	19.2 [ab]	14.3 [c]	17.4 ± 0.8 ***
B. celastrina	15.9 [a]	13.9 [a]	14.6 [a]	14.2 [a]	14.6 ± 0.9 NS
C. texana	2.1 [c]	9.1 [ab]	14.1 [a]	8.2 [b]	8.4 ± 1.8 ***
F. angustifolia	4.6 [c]	9.9 [a]	7.5 [b]	5.4 [c]	6.9 ± 0.5 ***
K. humboldtiana	9.5 [a]	8.4 [a]	9.3 [a]	12.6 [a]	9.9 ± 1.7 NS
L. tridentata	7.8 [ab]	8.9 [a]	5.3 [b]	6.3 [b]	7.1 ± 0.8 **
S. cuneifolia	12.1 [c]	9.3 [c]	23.1 [a]	17.1 [b]	15.4 ± 1.1 ***
Z. fagara	9.0 [ab]	11.1 [a]	6.9 [b]	6.9 [b]	8.5 ± 0.7 ***
M. sativa	20.2 [b]	14.7 [c]	26.6 [a]	25.0 [ab]	21.6 ± 1.6 ***

[1]Base seca; **(P<0.01), ***(P<0.001); NS = diferencias no significativas (P>0.05); EE = error estándar; Sig. = significancia; [abcd]Medias estacionales de las hileras con letras diferentes no son iguales.

En la estación de verano las plantas arbustivas tuvieron un mayor contenido de celulosa, pero todas mostraron un nivel inferior al de la *M. sativa* (26.6%); en cambio, en invierno el contenido fue menor, pero todas tuvieron un nivel inferior al que se observó en *M. sativa* (20.2%), y las especies que durante las cuatro estaciones mostraron el menor contenido de celulosa fueron *L. tridentata* (7.1%), *F. angustifolia* (6.9%), *C. texana* (8.4%) y *Z. fagara* (8.5%), pero las que presentaron un mayor contenido fueron *A. wrightii* (17.4%) y *S. cuneifolia* (15.4%). Sin embargo, durante el año todas las arbustivas alcanzaron niveles de celulosa inferiores a la de *M. sativa* (21.6%), pudiendo representar esto una desventaja para los microorganismos del rumen (y para el rumiante), debido a que obtienen menos energía con la degradación de este nutriente de las arbustivas, que con el que obtienen de *M. sativa* (Moore y Hatfield, 1994).

Hemicelulosa

Con excepción de *C. texana* y *K. humboldtiana*, el resto de las especies arbustivas mostró un contenido de hemicelulosa que varió significativamente ($P<0.05$) durante las cuatro estaciones del año (Cuadro 5). Las plantas arbustivas obtuvieron el nivel más alto de hemicelulosa en primavera, superando el nivel de M. sativa (17.7%), *F. angustifolia* (27.7%), *S. cuneifolia* (18.8%) y *Z. fagara* (18.4%). En otoño, las arbustivas tuvieron el menor contenido de hemicelulosa y las que presentaron un nivel equivalente o superior al de *M. sativa* (12.0%) fueron, *A. wrightii* (12.0%), *F. angustifolia* (19.4%), *K. humboldtiana* (14.0%) y *S. cuneifolia* (17.3%). Además, en relación al promedio anual, *F. angustifolia* (22.8%), *S. cuneifolia* (16.9%) y *K. humboldtiana* (15.2%), presentaron niveles de hemicelulosa superiores o comparables a *M. sativa* (15.4%), lo que significa que estas arbustivas pueden ser buenas fuentes potenciales de energía para los microorganismos del rumen, en cambio *B. celastrina* (3.7%) y *L. tridentata* (3.6%), por tener bajos niveles de este nutriente representan fuentes potenciales de baja energía.

Cuadro 5. Oscilación estacional del contenido de hemicelulosa (%) del follaje de las arbustivas evaluadas.

Especies	Estaciones				[1]Medias ± EE Sig.
	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	
A. wrightii	16.5 [a]	9.5 [b]	13.0 [ab]	12.0 [ab]	12.7 ± 1.5 **
B. celastrina	5.6 [a]	2.3 [b]	4.0 [ab]	2.8 [b]	3.7 ± 0.8 **
C. texana	10.9 [a]	13.7 [a]	11.2 [a]	10.3 [a]	11.5 ± 1.3 [NS]
F. angustifolia	22.1 [b]	27.7 [a]	22.2 [b]	19.4 [b]	22.8 ± 1.3 ***
K. humboldtiana	15.6 [a]	14.4 [a]	16.7 [a]	14.0 [a]	15.2 ± 2.2 [NS]
L. tridentata	5.7 [a]	3.2 [ab]	2.1 [b]	3.5 [ab]	3.6± 0.9 *
S. cuneifolia	12.6 [b]	18.8 [a]	19.2 [a]	17.3 [a]	16.9 ± 0.7 ***
Z. fagara	8.2 [b]	18.4 [a]	17.1 [a]	10.8 [b]	13.6 ± 1.0 ***
M. sativa	16.5 [a]	17.7 [a]	15.5 [a]	12.0 [b]	15.4 ± 1.0 **

[1]Base seca; *(P<0.05), **(P<0.01), ***(P<0.001); NS = diferencias no significativas (P>0.05); EE = error estándar; Sig. = significancia; [abcd]Medias estacionales de las hileras con letras diferentes no son iguales.

Lignina

Con excepción de *Z. fagara*, el resto de las arbustivas presentó un contenido de lignina que varió significativamente (P<0.05) durante las cuatro estaciones del año (Cuadro 6). Además, el nivel más alto de lignina en las plantas arbustivas se presentó en primavera, donde solamente A. wrightii (12.8%), *L. tridentata* (12.6%), y *Z. fagara* (9.8%) tuvieron un nivel equiparable o inferior a *M. sativa* (12.8%). En otoño, las plantas arbustivas tuvieron los niveles más bajos de lignina, donde *K. humboldtiana* (7.5%), *L. tridentata* (7.8%), *S. cuneifolia* (6.6%) y *Z. fagara* (7.8%), mostraron niveles inferiores a *M. sativa* (9.0%). Además, *A. wrightii* (13.0%), *B. celastrina* (14.8%) y *C. texana* (22.5%), tuvieron una media anual de lignina más alta que la *M. sativa* (11.9%); significando lo anterior, que de las plantas evaluadas, cinco tuvieron niveles equiparables o inferiores de lignina que *M. sativa*. Se ha documentado que un alto contenido de lignina (como el mostrado por las plantas arbustivas estudiadas), ejerce un efecto negativo sobre la digestibilidad de la pared celular, ocasionando de este modo una disminución en el consumo del forraje (Jung y Allen, 1995).

Cuadro 6. Dinámica estacional del contenido de lignina (%) de las arbustivas analizadas.

	Estaciones				
Especies	**Invierno**	**Primavera**	**Verano**	**Otoño**	**[1]Medias ± EE Sig.**
A. wrightii	16.5 [a]	12.8 [b]	10.9 [b]	11.9 [b]	13.0 ± 0.9 ***
B. celastrina	13.0 [c]	19.4 [a]	15.6 [b]	11.3 [c]	14.8 ± 0.8 ***
C. texana	28.2 [a]	22.0 [b]	17.3 [c]	22.7 [b]	22.5 ± 1.4 ***
F. angustifolia	13.2 [a]	13.0 [ab]	10.1 [bc]	9.6 [c]	11.5 ± 1.0 **
K. humboldtiana	9.6 [b]	16.9 [a]	9.9 [b]	7.5 [b]	11.0 ± 1.4 ***
L. tridentata	10.0 [ab]	12.6 [a]	8.8 [ab]	7.8 [b]	9.8 ± 1.2 *
S. cuneifolia	12.5 [b]	18.9 [a]	8.6 [bc]	6.6 [c]	11.7 ± 1.6 ***
Z. fagara	8.0 [a]	9.8 [a]	7.8 [a]	7.8 [a]	8.3 ± 1.0 [NS]
M. sativa	16.7 [a]	12.8 [ab]	9.1 [b]	9.0 [b]	11.9 ± 1.4 **

[1]Base seca; *(P<0.05), **(P<0.01), ***(P<0.001); NS = diferencias no significativas (P>0.05); EE = error estándar; Sig. = significancia; [abcd]Medias estacionales de las hileras con letras diferentes no son iguales.

Cenizas

Todas las especies de arbustivas presentaron diferencias significativas (P<0.001) en su contenido de cenizas durante las cuatro estaciones del año (Anexo 9). En invierno y otoño las arbustivas mostraron los más altos niveles de cenizas. En invierno, solo *S. cuneifolia* (20.8%) superó el valor de *M. sativa* (15.7%) y en otoño *S. cuneifolia* (18.6%), *K. humboldtiana* (14.6%) y *Z. fagara* (12.5%), superaron el valor de *M. sativa* (12.3%). Las especies de arbustivas que tuvieron medias anuales superiores a *M. sativa* (13.3%), fueron *K. humboldtiana* (13.6%), *L. tridentata* (13.5%) y *S. cuneifolia* (17.7%), en cambio *C. texana* (8.4%) obtuvo el valor más bajo. De acuerdo con estos resultados se puede considerar que en conjunto las especies evaluadas son fuente potencial de minerales durante las cuatro estaciones del año.

Cenizas insolubles

El contenido de cenizas insolubles de la mayoría de las arbustivas varió significativamente ($P<0.05$) durante las cuatro estaciones del año (Anexo 10). Además, en verano las arbustivas mostraron el mayor contenido de cenizas insolubles, y siete especies presentaron un contenido de cenizas equiparable o superior a *M. sativa* (0.4%), donde los valores más altos los alcanzaron *K. humboldtiana* (1.3%) y *L. tridentata* (2.7%). En invierno, las arbustivas tuvieron los niveles de cenizas insolubles más bajos, pero todas superaron el nivel de *M. sativa* (0.0%), donde el valor más alto correspondió a *B. celastrina* (0.9%). Por último, todas las arbustivas presentaron una media anual igual o superior a *M. sativa* (0.4%), y la especie que obtuvo el valor más alto fue *L. tridentata* (1.4%). El alto nivel de cenizas insolubles mostrado por *L. tridentata*, si se asocia con la lignina puede producir una disminución en la digestibilidad de la FDN (Van Soest y Jones, 1968).

Taninos

De las ocho especies de plantas evaluadas durante el año, cinco presentaron taninos (Cuadro 7), cuya cantidad varió significativamente ($P<0.001$) durante las cuatro estaciones del año, obteniendo los valores más altos *B. celastrina* (2.1%) y *K. humboldtiana* (2.1%) y el más bajo *A. wrightii* (0.3%). Aunque las arbustivas evaluadas mostraron un bajo contenido de taninos; *C. texana*, *K. humboldtiana* y *L. tridentata* tienen un valor limitado como forraje tanto para rumiantes domésticos como de vida silvestre, porque además de los referidos taninos, contienen fenoles, principios activos o sustancias tóxicas (Ramírez, 1996; Mangione *et al.*, 2000; González, 1989), por lo que estas arbustivas son consumidas en cierto grado solo en temporadas de sequía por rumiantes en pastoreo.

Cuadro 7. Variación estacional del contenido de taninos (%) del follaje de las arbustivas evaluadas.

Especies	Estaciones				[1]Medias ± EE	Sig.
	Invierno	Primavera	Verano	Otoño		
A. wrightii	0.1 [c]	0.2b [c]	0.6 [a]	0.3 [b]	0.3 ± 0.1	***
B. celastrina	4.2 [a]	ND [d]	1.6 [c]	2.7 [b]	2.1 ± 0.1	***
C. texana	ND [b]	3.5 [a]	ND [b]	ND [b]	0.9 ± 0.0	***
F. angustifolia	ND [a]	ND [a]	ND [a]	ND [a]	0.0 ± 0.0	NS
K. humboldtiana	2.6 [b]	1.2 [d]	3.0 [a]	1.8 [c]	2.1 ± 0.1	***
L. tridentata	1.0 [b]	0.9 [b]	0.3 [c]	1.5 [a]	0.9 ± 0.1	***
S. cuneifolia	ND [a]	ND [a]	ND [a]	ND [a]	0.0 ± 0.0	NS
Z. fagara	ND [a]	ND [a]	ND [a]	ND [a]	0.0 ± 0.0	NS
M. sativa	ND [a]	ND [a]	ND [a]	ND [a]	0.0 ± 0.0	NS

[1]Base seca; ***(P<0.001); NS = diferencias no significativas (P>0.05); EE = error estándar; Sig. = significancia; [abcd]Medias estacionales de las hileras con letras diferentes no son iguales; ND = no detectados

Energía bruta (EB)

El contenido de energía de las especies evaluadas presentó diferencias significativas (P<0.001) durante las cuatro estaciones del año (Anexo 11). En primavera y verano las arbustivas tuvieron los niveles más altos de energía. En primavera todas las arbustivas tuvieron niveles de energía superiores o equiparables a *M. sativa* (4.3 Mcal Kg^{-1}), siendo más altos en *A. wrightii* (5.1 Mcal Kg^{-1}) y *L. tridentata* (5.1 Mcal Kg^{-1}). En verano también todas las arbustivas tuvieron niveles de energía superiores o equiparables a *M. sativa* (4.4 Mcal Kg^{-1}), siendo más altos en *F. angustifolia* (5.3 Mcal Kg^{-1}) y *A. wrightii* (5.1 Mcal Kg^{-1}). También la media anual de energía fue superior o equiparable a la obtenida por *M. sativa* (4.4 Mcal Kg^{-1}), obteniendo los valores más altos *F. angustifolia* (5.1 Mcal Kg^{-1}) y *L. tridentata* (5.0 Mcal Kg^{-1}).

Aunque la mayoría de las arbustivas mostraron niveles de energía bruta superiores a *M. sativa*, esto no significa que su aporte de energía a los rumiantes vaya a ser superior a *M.*

sativa, ya que falta por conocer cuanta de esa energía contenida en las plantas será aprovechada por los rumiantes (Church *et al.*, 1987)

B) DIGESTIBILIDAD RUMINAL

Parámetros no lineales de digestibilidad ruminal de la materia seca

Con excepción de *B. celastrina*, el resto de las especies arbustivas presentó diferencias significativas (P<0.001) en la fracción **a** de la MS, durante las cuatro estaciones del año. La mayoría de las plantas arbustivas tuvieron los valores más altos en la fracción **a** de la MS en invierno y otoño (Anexo 12), siendo mayores en invierno en *F. angustifolia* (48.4%), *K. humboldtiana* (41.4%) y *L. tridentata* (40.7%); y en otoño en *F. angustifolia* (43.7%) y *Z. fagara* (42.8%). De las ocho arbustivas evaluadas solo *F. angustifolia* presentó una media anual (41.8%) que resultó superior a *M. sativa* (38.9%). El hecho de que *F. angustifolia* haya tenido una media anual alta en la fracción **a** de la MS. representa una ventaja para el rumiante, en relación con las otras especies evaluadas, porque esta fracción por ser soluble en el líquido ruminal, fue rápidamente degradada por las bacterias del rumen.

Con excepción de *S. cuneifolia*, el resto de las especies evaluadas presentó diferencias significativas (P<0.01) en la fracción **b** de la MS durante las cuatro estaciones del año. La fracción **b** de la MS fue más degradada en primavera y verano (Anexo 13), obteniendo los valores más altos *K. humboldtiana* (61.5%), *F. angustifolia* (60.3%) y *Z. fagara* (55.5%). La mayoría de los rangos menores se obtuvieron en otoño, siendo más bajos en *B. celastrina* (27.3%) y *A. wrightii* (28.1%). Durante el año, la fracción **b** fue más degradada en *K. humboldtiana* (49.8%), *Z. fagara* (49.6%) y *F. angustifolia* (47.4%), que en *M. sativa* (43.5%).

Con excepción de *Z. fagara*, la degradabilidad potencial (**a+b**) de la MS de las especies arbustivas, presentó diferencias significativas durante las cuatro estaciones del año (Anexo 14). La degradabilidad potencial de la materia seca fue más alta en verano, presentando *F. Angustifolia* (93.3%), *L. Tridentata* (89.9%) y *Z. Fagara* (88.5%) una degradabilidad superior

a *M. sativa* (80.9%). En otoño las arbustivas tuvieron la degradabilidad potencial más baja, superando solamente *Z. Fagara* (84%) el valor de *M. sativa* (83.7%). Con relación a la media anual solamente *F. Angustifolia* (89.2%) y *Z. Fagara* (84%) superaron el valor de *M. sativa* (82.4%). El hecho de que el promedio más alto de degradabilidad potencial de la MS lo obtuvieran *F. angustifolia* y *Z. fagara*, pudo deberse a que durante el año de estudio estas dos especies presentaron bajos niveles de FDA y no se les detectaron taninos; por lo que se considera que estas dos especies son importantes para ser ramoneadas.

De las especies evaluadas solamente *C. texana*, *S. cuneifolia* y *Z. fagara* tuvieron una tasa de degradación (**c**) de la MS, que fluctuó significativamente ($P<0.01$) durante las cuatro estaciones del año (Anexo 15). La tasa de degradación de la fracción **c** fue más alta en invierno, siendo mayor en *S. cuneifolia* (13% h^{-1}), *Z. fagara* (12.5% h^{-1}), *C. texana* (9.1% h^{-1}) y *A. wrightii* (7.2% h^{-1}). La fracción insoluble de la materia seca fue más lentamente degradada en otoño, presentando el valor más bajo en esta estación *C. texana* (3.2% h^{-1}). De las arbustivas evaluadas, siete obtuvieron una tasa de degradación anual equivalente o superior a *M. sativa* (5.4% h^{-1}).

Durante las cuatro estaciones del año solamente *A. wrightii*, *F. angustifolia*, *L. tridentata* y *S. cuneifolia*, presentaron diferencias significativas ($P<0.05$) en sus tiempos de retardo (**t**) (Anexo 16). El tiempo de retardo fue menor en invierno y más alto en verano, obteniendo los valores más bajos en invierno *L. tridentata* (1.9 h) y *A. wrightii* (3.2 h), y en verano, fueron más altos en *K. humboldtiana* (4.7 h) y *L. tridentata* (4.7 h). *A. wrightii* (3.6 h), *B. celastrina* (3.4 h), y *L. tridentata* (3.5 h) registraron medias anuales de tiempos de retardo inferiores a *M. sativa* (3.7 h).

Todas las especies de arbustivas presentaron diferencias significativas ($P<0.001$) en su degradabilidad efectiva de la MS durante las cuatro estaciones del año (Cuadro 8). Con relación a esta degradabilidad, la materia seca fue más degradada en invierno y menos degradada en otoño, presentando los valores más altos en invierno *F. angustifolia* (76.3%) y *K. humboldtiana* (70.7%), y en otoño, los valores más bajos correspondieron a *B. celastrina* (45.7%) y *L. tridentata* (52.8%). De las arbustivas evaluadas, solamente *F. angustifolia* (72.3%) y *Z. fagara* (68.1%) tuvieron una media anual superior o equiparable a *M. sativa*

(67.6%), y el valor más bajo se registró en *B. celastrina* (51%). Aunque en contenido de FDN y taninos en las plantas evaluadas fue bajo, el hecho de que la mayoría de las arbustivas presentaran una DEMS inferior a *M. sativa*, pudo deberse principalmente al contenido de lignina, ya que *F. angustifolia* y *Z. fagara* que tuvieron una DEMS más alta que *M. sativa*, mostraron un contenido de lignina inferior a esta planta testigo, en cambio, *B. celastrina* por tener taninos y un alto contenido de lignina tuvo una DEMS baja. Esta misma tendencia en la DEMS con relación a los taninos y lignina, se obtuvieron en estudios complementarios realizados por Moya (1997) y Castillo (1997) con 10 especies arbustivas nativas del noreste de México.

Cuadro 8. Degradabilidad efectiva (%) de la materia seca a una tasa de recambio ruminal de 2% h^{-1} en las cuatro estaciones del año.

	Estaciones				
Especies	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	[1]Medias ± EE Sig,
A. wrightii	50.8 [d]	58.2 [b]	61.0 [a]	54.2 [c]	56.0 ± 0.8 ***
B. celastrina	53.8 [b]	47.1 [c]	56.9 [a]	45.7 [c]	51.0 ± 0.9 ***
C. texana	62.9 [a]	64.4 [a]	62.6 [a]	59.0 [b]	62.2 ± 0.6 ***
F. angustifolia	76.3 [a]	70.4 [b]	74.1 [a]	68.6 [b]	72.3 ± 0.8 ***
K. humboldtiana	70.7 [a]	62.7 [b]	52.8 [c]	55.5 [c]	60.4 ± 1.2 ***
L. tridentata	62.4 [b]	58.5 [bc]	72.4 [a]	52.8 [c]	61.5 ± 2.9 ***
S. cuneifolia	66.9 [a]	59.3 [b]	54.6 [c]	61.4 [b]	60.5 ± 0.8 ***
Z. fagara	71.4 [a]	60.7 [b]	71.8 [a]	68.6 [a]	68.1 ± 1.7 ***
M. sativa	63.2 [b]	75.0 [a]	65.0 [b]	67.2 [b]	67.6 ± 1.5 ***

[1]Base seca; ***(P<0.001); EE = error estándar; Sig. = significancia; [abcd]Medias estacionales de las hileras con letras diferentes no son iguales.

Parámetros no lineales de digestibilidad ruminal de la proteína cruda

La fracción **a** de la PC del follaje de las especies evaluadas fue más degradada en invierno y menos degradada en otoño (Anexo 17). Además todas las especies presentaron diferencias significativas (P<0.01) en la degradabilidad de la fracción **a** durante las cuatro estaciones del año. Durante el año, en la mayoría de las arbustivas esta fracción fue más degradada que *M. sativa* (40.7%), obteniendo los valores más altos *S. cuneifolia* (58.1%), *A. wrightii* (48.7%) y *K. humboldtiana* (46%), en cambio *Z. fagara* (36.5%) registró el nivel más bajo de todas las arbustivas. Como la media estacional de la fracción **a** fue más alta en invierno, esto pudiera significar que en esta estación, las arbustivas presentaron mayor cantidad de proteína soluble (fracción **a**), la cual fue degradada rápidamente por los microorganismos del rumen, o que pasó por el mismo solubilizada en agua o en mezclas acuosas de ácidos (Orskov *et al.*, 1980; Maynard *et al.*, 1989).

Con excepción de *B. celastrina*, el resto de las especies arbustivas presentó diferencias significativas (P<0.01) en la degradabilidad de la fracción **b** de la PC, durante las cuatro estaciones del año (Anexo 18). La fracción **b** de la PC fue más degradada en verano y menos degradada en primavera, además durante el año solo *Z. fagara* (52%) tuvo un nivel de degradabilidad superior a M. sativa (46.5%). por otra parte *B. celastrina* (28.4%) y *L. tridentata* (28.3%) presentaron los niveles más bajos. El hecho de que la media estacional de la fracción **b** haya sido más alta en verano, que en las demás estaciones, pudo deberse a una menor proporción de lignina y taninos de las arbustivas durante esta estación, lo cual indica que se trata en buena medida de PC insoluble no ligada a la pared celular, la cual puede ser digerida en mayor grado, cuando el follaje tiene un menor contenido de taninos (Kumar y D'Mello, 1995; Ramírez et al., 1997).

La degradabilidad potencial (**a+b**) de la PC, fue más alta en invierno y más baja en otoño (Anexo 19). Además solo *F. angustifolia*, *K. humboldtiana*, *L. tridentata* y *Z. fagara*, fueron las únicas especies que presentaron diferencias significativas (P<0.001) en la degradabilidad potencial de la PC durante las cuatro estaciones del año. Durante el año esta degradabilidad potencial fue más alta que *M. sativa* (87.2%) en *S. cuneifolia* (92%), *Z. fagara* (88.1%) y *C. texana* (87.5%). *L. tridentata* presentó el nivel más bajo (68.7%) de todas las arbustivas.

La tasa de degradación (c) de la PC fue más alta en invierno y lo contrario ocurrió en otoño (Anexo 20). Además *A. wrightii*, *C. texana*, *S. cuneifolia* y *Z. fagara*, fueron las únicas especies que presentaron diferencias significativas ($P<0.01$) en la tasa de degradación de la PC durante las cuatro estaciones del año. La PC de todas las arbustivas fue degradada a menor velocidad que *M. sativa* (8.4% h^{-1}), alcanzando el valor más alto *S. cuneifolia* (8% h^{-1}) y el más bajo *F. angustifolia* (5% h^{-1}).

Con excepción de *F. angustifolia* y *K. humboldtiana*, el resto de las especies arbustivas presentó diferencias significativas ($P<0.01$) en sus tiempos de retardo (t), durante las cuatro estaciones del año (Anexo 21). El tiempo de retardo (t) de las bacterias para iniciar la degradabilidad ruminal de la PC, fue más alto en verano y primavera, teniendo en verano la mayoría de las arbustivas valores equivalentes a *M. sativa* (4.4 h) y en primavera cinco arbustivas mostraron valores superiores a *M. sativa* (3.7 h), siendo mayor en *S. cuneifolia* (4.7 h). El hecho de que los tiempos de retardo hayan sido más altos en estas dos estaciones pudiera coincidir con el contenido de celulosa, ya que también fue alto en estas dos estaciones, lo que pudiera indicar que una parte de la proteína cruda está enlazada a la celulosa, produciendo por ello un tiempo de retardo mayor en las bacterias.

Todas las especies de arbustivas evaluadas presentaron diferencias significativas ($P<0.001$) en la DEPC durante las cuatro estaciones del año (Cuadro 9). La DEPC fue más alta en invierno y menor en otoño. De las arbustivas evaluadas, solo *S. cuneifolia* (82%) presentó una DEPC anual superior a *M. sativa* (75.1%), mientras que del resto de las arbustivas el nivel de digestibilidad ruminal fue menor en *B. celastrina* (59.3%). El buen nivel de hemicelulosa mostrado por *F. angustifolia*, *S. cuneifolia*, *Z. fagara*, *K. humboldtiana*, *A. wrightii* y *C. texana*, probablemente ejerció un efecto positivo sobre la DEPC, llevándola hasta niveles aceptables y convirtiéndose de esta manera en fuente de energía para favorecer la actividad de los microorganismos del rumen (Fahey y Berger, 1988).

Cuadro 9. Variación estacional de degradabilidad efectiva (%) de la proteína cruda a una tasa de recambio ruminal de 2% h^{-1}.

	Estaciones				
[1]Especies	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Medias ± EE Sig.
A. wrightii	73.3 [b]	76.7 [ab]	77.8 [a]	60.7 [c]	72.1 ± 1.4 ***
B. celastrina	66.1 [a]	62.0 [ab]	59.0 [b]	49.9 [c]	59.3 ± 1.8 ***
C. texana	78.3 [a]	79.8 [a]	68.9 [b]	65.4 [b]	73.1 ± 1.5 ***
F. angustifolia	79.2 [a]	74.3 [b]	77.1 [ab]	46.6 [c]	69.3 ± 1.3 ***
K. humboldtiana	80.1 [a]	74.4 [b]	67.3 [c]	57.1 [d]	69.7 ± 0.9 ***
L. tridentata	76.9 [a]	61.8 [b]	51.3 [c]	50.8 [c]	60.2 ± 1.5 ***
S. cuneifolia	86.1 [a]	81.4 [bc]	82.2 [b]	80.5 [c]	82.5 ± 0.5 ***
Z. fagara	84.0 [a]	66.4 [c]	72.9 [b]	68.1 [bc]	72.8 ± 1.8 ***
M. sativa	74.1 [b]	81.2 [a]	71.5 [b]	73.7 [b]	75.1 ± 1.7 ***

[1]Base seca; ***(P<0.001); EE = error estándar; Sig. = significancia; [abcd]Medias estacionales de las hileras con letras diferentes no son iguales.

También hay que agregar que la DEPC de las arbustivas evaluadas, tuvo diferencias significativas (P<0.001) entre las cuatro estaciones del año. Es probable que la baja DEPC mostrada por *B. celastrina* y *L. tridentata* pudo deberse principalmente al bajo contenido de hemicelulosa (además del nivel de taninos) alcanzado por estas plantas durante el año, ya que las bacterias del rumen necesitan de una fuente de energía para realizar sus actividades metabólicas relacionadas con la degradación de nutrientes de los forrajes (Orskov, 1982), y por otra parte, los taninos inhiben la digestibilidad de la proteína, porque no solamente forman enlaces con la proteína de la dieta, sino también con las enzimas de los microorganismos del rumen, afectando de esta manera su actividad metabólica (Kumar y D' Mello, 1995).

Parámetros no lineales de digestibilidad ruminal de la fibra detergente neutro

Con excepción de *S. cuneifolia*, el resto de las especies de arbustivas presentó diferencias significativas (P<0.001) en la degradabilidad ruminal de la fracción **a** de la FDN durante las cuatro estaciones del año (Anexo 22). El nivel de la fracción **a** de la FDN de las arbustivas evaluadas fue más alto en invierno y más bajo en otoño. Durante el año los valores más altos se presentaron en *F. angustifolia* (28.6%) y *K. humboldtiana* (23.7%), los cuales superaron el valor de *M. sativa* (22.6%), el valor más bajo lo obtuvo *Z. fagara* (3.2%).

Durante las cuatro estaciones del año todas las plantas evaluadas presentaron diferencias significativas (P<0.05) en la degradabilidad ruminal de la fracción **b** de la FDN (Anexo 23). La fracción **b** de la FDN fue más degradada en verano y menos degradada en invierno, y durante el año esta fracción fue más degradada en *F. angustifolia* (58.6%), *K. humboldtiana* (56.3%), *A. wrightii* (54.6%) y *C. texana* (51.3%), y solamente *L. tridentata* (40.0%) y *S. cuneifolia* (42.8%) no superaron el valor de *M. sativa* (43.6%).

La degradabilidad potencial (**a+b**) de la FDN de las especies de arbustivas, presentó diferencias significativas (P<0.05) durante las cuatro estaciones del año (Anexo 24). La degradabilidad potencial de la fibra fue más alta en *F. angustifolia* (87.3%), *K. humboldtiana* (79.9%), *Z. fagara* (70.3%), *C. texana* (68.5%), y *A. wrightii* (68.4%), superando estos valores al de *M. sativa* (66.3%), en cambio, *L. tridentata* fue la arbustiva con el valor más bajo (56.8%). La fibra fue más degradada en verano y otoño, y en todas las especies hubo diferencias significativas (P<0.05) entre las medias estacionales.

Con excepción de *K. humboldtiana* y *Z. fagara*, el resto de las especies de arbustivas presentó diferencias significativas (P<0.05) en la tasa de degradación ruminal (**c**) de la FDN durante las cuatro estaciones del año (Anexo 25). La tasa de degradación ruminal de la FDN fue más alta en invierno y más baja en otoño. De las arbustivas evaluadas, solamente la FDN de *S. cuneifolia* (5.3% h^{-1}) fue más rápidamente degradada durante el año que *M. sativa* (4.9% h^{-1}), y del resto de las arbustivas el nivel más bajo lo obtuvo *B. celastrina* (2.8% h^{-1}).

Con excepción de *B. celastrina* y *F. angustifolia*, el tiempo de retardo (t) de las bacterias para iniciar la degradabilidad de la FDN, varió significativamente (P<0.05) durante las cuatro estaciones del año (Anexo 26). En invierno y otoño las bacterias tardaron menos tiempo en iniciar la degradabilidad ruminal de la FDN. Además durante el año, las bacterias tardaron menos tiempo en iniciar la degradabilidad de la FDN en *L. tridentata* (2.7 h) y *A. wrightii* (3.0 h), y más tiempo en *K. humboldtiana* (4.4 h) y *S. cuneifolia* (3.9 h).

La DEFDN de las especies evaluadas, varió significativamente (P<0.05) durante las cuatro estaciones del año (Cuadro 10). La DEFDN de las especies de arbustivas fue más alta en primavera y verano. En primavera solamente *F. angustifolia* (66.3%) superó el nivel de *M. sativa* (64.1%) y en verano *F. angustifolia* (66%), *K. humboldtiana* (55.2) y *Z. fagara* (55.2%) superaron el nivel alcanzado por *M. sativa* (53%). Además, durante el año la fibra de *F. angustifolia* (61.3%) y *K. humboldtiana* (54.2%) fue más degradada que la de *M. sativa* (53.7%), mientras que la fibra del resto de las arbustivas fue menos degradada, siendo menor en *B. celastrina* (34.0%). Con relación a estos resultados es probable que el nivel con que fue degradada la FDN tanto en forma estacional como a nivel de especie, esté relacionado con el contenido de hemicelulosa de las arbustivas, porque en primavera y verano, que fue cuando se degradó mayor cantidad de FDN, las arbustivas mostraron en esas dos estaciones mayor cantidad de hemicelulosa. Además, existe el hecho de que las arbustivas *F. angustifolia*, *K. humboldtiana*, *S. cuneifolia* y *Z. fagara*, tuvieron el mayor contenido de hemicelulosa de las especies evaluadas, y las mismas también mostraron la más alta DEFDN a largo del año, en cambio *B. celastrina* y *L. tridentata*, que mostraron el menor nivel de hemicelulosa tuvieron la menor DEFDN.

De acuerdo con lo anterior, es probable que el efecto positivo que ejerció la hemicelulosa sobre la DEFDN, pudo deberse a que la xilosa o algún otro componente de la hemicelulosa fue mas digestible que la celulosa y probablemente solo una pequeña porción de estos componentes de la hemicelulosa estuvieron ligados a la lignina (Buxton y Brasche, 1991).

Cuadro 10. Degradabilidad efectiva (%) de la fibra detergente neutro de las arbustivas a una tasa de recambio ruminal de 2% h^{-1}.

	Estaciones				
Especies	**Invierno**	**Primavera**	**Verano**	**Otoño**	**[1]Medias ± EE Sig,**
A. wrightii	48.2 [a]	43.2 [ab]	43.1 [b]	29.9 [c]	41.1 ± 1.6 ***
B. celastrina	36.0 [a]	36.0 [a]	39.2 [a]	24.7 [b]	34.0 ± 1.7 ***
C. texana	39.4 [b]	54.2 [a]	39.7 [b]	36.4 [b]	42.4 ± 1.3 ***
F. angustifolia	66.4 [a]	66.3 [a]	66.0 [a]	46.5 [b]	61.3 ± 1.5 ***
K. humboldtiana	60.9 [a]	61.3 [a]	55.2 [b]	39.6 [c]	54.2 ± 1.3 ***
L. tridentata	48.3 [a]	35.7 [b]	52.1 [a]	27.4 [c]	40.9 ± 2.4 ***
S. cuneifolia	49.0 [a]	48.6 [a]	47.7 [ab]	46.4 [b]	47.9 ± 0.7 *
Z. fagara	33.8 [c]	40.7 [b]	55.2 [a]	40.9 [b]	42.7 ± 1.3 ***
M. sativa	50.1 [c]	64.1 [a]	53.0 [b]	47.5 [c]	53.7 ± 0.9 ***

[1]Base seca; *(P<0.05), ***(P<0.001); EE = error estándar; Sig. = significancia; [abcd]Medias estacionales de las hileras con letras diferentes no son iguales.

Con relación a estos resultados se puede decir que primavera y verano son las estaciones más propicias para que los microorganismos del rumen de pequeños rumiantes en pastoreo, puedan degradar la FDN del follaje de las arbustivas evaluadas y apropiarse de esta manera, de cierta cantidad de energía para sus funciones vitales.

C) ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

Los datos relacionados con el valor nutritivo fueron correlacionados con los parámetros de digestibilidad de la MS, PC y FDN para ver la forma en que era afectados estos últimos. El cuadro 11 muestra que la MO (r = -0.18; P<0.05), la FDA (r = -0.38; P<0.001), la celulosa (r = -0.28; P< 0.001), la lignina (r = -0.17; P<0.05) y el contenido de taninos (r = -0.35; P<0.001)

afectaron negativamente la DEMS; en cambio, la hemicelulosa (r = 0.42; P<0.001), y las cenizas (r = 0.18; P<0.05) lo hicieron en forma positiva.

Cuadro 11. Análisis de correlación simple entre las variables de degradabilidad ruminal de la materia seca (MS) y el valor nutritivo de las plantas evaluadas.

	MS	MO	PC	FDN	FDA	CEL	HEM	LIG	CEN	CIA	TAN	ENE
a	- 0.05	- 0.03	- 0.23**	- 0.09	- 0.28***	- 0.24**	0.17*	- 0.10	0.03	0.12	- 0.21*	0.10
b	- 0.21*	- 0.11	0.38***	0.13	- 0.20*	- 0.13	0.40***	- 0.11	0.11	- 0.001	- 0.10	0.02
DPMS	- 0.21*	- 0.11	0.19*	0.06	- 0.34 ***	- 0.25**	0.44***	- 0.16	0.11	0.07	- 0.22**	0.07
c	0.13	- 0.29***	- 0.17*	- 0.04	- 0.02	- 0.04	- 0.04	0.01	0.29***	0.04	- 0.22**	- 0.23**
t	- 0.03	- 0.22**	0.01	- 0.08	- 0.20*	- 0.11	0.11	- 0.17*	0.22**	0.21*	0.04	- 0.23**
DEMS	- 0.17*	- 0.18*	0.04	0.02	- 0.38***	- 0.28***	0.42***	- 0.17*	0.18*	0.11	- 0.35***	0.04

*(P< 0.05); **(P< 0.01); ***(P< 0.001); MS = materia seca; MO = materia orgánica; PC = proteína cruda; FDN = fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácido; CEL = celulosa; HEM = hemicelulosa; LIG = lignina; CEN = cenizas; CIA = cenizas insolubles ácidas; TAN = taninos; ENE = energía bruta; a = fracción soluble; b = fracción insoluble; DPMS = degradabilidad potencial de MS (a+b); c = tasa de degradación de la fracción insoluble; t = tiempo de retardo para que las bacterias inicien la degradación de la MS; DEMS = degradabilidad efectiva de la MS.

En el cuadro 12 se observa que la MO (r = -0.24; P<0.01), las cenizas insolubles (r = -0.29; P<0.001) y el contenido de taninos (r = -0.21; P<0.01) afectaron negativamente la DEPC; en cambio la proteína cruda (r = 0.18; P<0.05), la FDN (r = 0.49; P<0.001), la FDA (r = 0.23; P<0.01), la celulosa (r = 0.17; P<0.05), hemicelulosa (r = 0.45; P<0.001), y las cenizas (r = 0.24; P<0.01) lo hicieron en forma positiva.

Cuadro 12. Análisis de correlación simple entre las variables de degradabilidad ruminal de la proteína cruda (PC) y el valor nutritivo de las arbustivas evaluadas.

	MS	MO	PC	FDN	FDA	CEL	HEM	LIG	CEN	CIA	TAN	ENE
a	0.15	- 0.21*	0.12	0.33***	0.30	0.20*	0.15	0.19*	0.21*	- 0.27**	0.09	0.10
b	- 0.18*	0.10	0.07	0.18*	- 0.12	- 0.08	0.38***	- 0.08	- 0.10	0.01	- 0.29***	0.02
DPPC	- 0.04	- 0.10	0.19*	0.50***	0.15	0.11	0.53***	0.11	0.10	- 0.25**	- 0.21*	0.07
c	- 0.17*	- 0.35***	- 0.03	- 0.003	0.09	0.09	- 0.09	0.03	0.35***	- 0.07	- 0.25**	- 0.23**
t	0.16*	- 0.12	- 0.04	0.17*	- 0.07	- 0.16	0.31***	0.09	0.12	- 0.08	- 0.15	- 0.23**
DEPC	- 0.04	- 0.24**	0.18*	0.49***	0.23**	0.17*	0.45***	0.15	0.24**	- 0.29***	- 0.21**	0.04

*(P< 0.05); **(P< 0.01); ***(P< 0.001); MS = materia seca; MO = materia orgánica; PC = proteína cruda; FDN = fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácido; CEL = celulosa; HEM = hemicelulosa; LIG = lignina; CEN = cenizas; CIA = cenizas insolubles ácidas; TAN = taninos; ENE = energía bruta; a = fracción soluble; b = fracción insoluble; DPPC = degradabilidad potencial de PC (a+b); c = tasa de degradación de la fracción insoluble; t = tiempo de retardo para que las bacterias inicien la degradación de la PC; DEPC = degradabilidad efectiva de la PC.

El cuadro 13 muestra que la MO, la FDA, la celulosa, la lignina, las cenizas insolubles y los taninos ejercieron un efecto negativo sobre la DEFDN, pero sin llegar a ser significativo (P>0.05); en cambio el efecto positivo en forma significativa sobre la digestibilidad de la fibra, lo ejercieron la PC (r = 0.24; P<0.01), la FDN (r = 0.39; P<0.001) y la hemicelulosa (r = 0.68; P<0.001).

Cuadro 13. Análisis de correlación simple entre las variables de degradabilidad ruminal de la fibra detergente neutro (FDN) y el valor nutritivo de las arbustivas evaluadas.

	MS	MO	PC	FDN	FDA	CEL	HEM	LIG	CEN	CIA	TAN	ENE
a	- 0.12	- 0.09	0.03	0.43 ***	0.12	-0.02	0.47 ***	0.19 *	0.09	- 0.08	- 0.02	0.09
b	0.02	0.17 *	0.08	- 0.10	-0.28***	- 0.13	0.16	- 0.23 **	- 0.17*	- 0.03	0.02	0.08
DPFDN	- 0.10	0.13	0.10	0.16	-0.22**	- 0.15	0.46 ***	- 0.12	- 0.13	- 0.08	0.01	0.13
c	- 0.05	- 0.28 ***	- 0.002	0.11	0.04	- 0.12	0.11	0.19 *	0.28***	0.08	- 0.23 **	- 0.04
t	- 0.05	- 0.17 *	0.15	0.19 *	0.03	-0.05	0.24 **	0.11	0.17 *	- 0.14	0.04	- 0.05
DEFDN	- 0.28 ***	- 0.11	0.24 **	0.39 ***	-0.13	- 0.09	0.68 ***	- 0.05	0.11	- 0.07	- 0.13	0.09

*(P< 0.05); **(P< 0.01); ***(P< 0.001); MS = materia seca; MO = materia orgánica; PC = proteína cruda; FDN = fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácido; CEL = celulosa; HEM = hemicelulosa; LIG = lignina; CEN = cenizas; CIA = cenizas insolubles ácidas; TAN = taninos; ENE = energía bruta; a = fracción soluble; b = fracción insoluble; DPFDN = degradabilidad potencial de FDN (a+b); c = tasa de degradación de la fracción insoluble; t = tiempo de retardo para que las bacterias inicien la degradación de la FDN; DEFDN = degradabilidad efectiva de la FDN.

El efecto negativo de la lignina sobre la DEMS fue más significativo que el ejercido sobre la DEFDN, en este sentido, actualmente se conoce que cuando en los forrajes hay altos niveles de lignina ocurre una disminución en la digestibilidad de la MS y FDN (Jung y Vogel, 1992; Van Soest, 1993), ocasionando con esto una disminución en el consumo del forraje debido al efecto de llenado del intestino (Glenn *et al*, 1993). Ramírez *et al* (2000) y Foroughbakhch *et al* (1998), reportaron que altos niveles de lignina afectaron la DEFDN del forraje de arbustivas del noreste de México. El efecto negativo de las cenizas insolubles fue más alto sobre la DEPC que sobre la DEFDN; por lo que esto se relaciona con el hecho de que altos niveles de sílice en los forrajes disminuyen la digestibilidad de la FDN y este efecto puede ser mayor cuando interactúa con la lignina (Van Soest y Jones, 1968). El efecto negativo que ejercieron los taninos sobre la DEPC y la DEFDN pudo deberse a que los taninos pudieron formar enlaces con las proteínas y la fibra, haciéndolas indigestibles (Vaithiyanathan y Kumar, 1993). En relación con las proteínas, los taninos pueden formar

complejos tanto con la proteínas de las dietas como con las endógenas, incluyendo las enzimas. Por esta razón cuando estas proteínas se enlazan con los taninos es difícil que experimenten un metabolismo normal. Además la interacción taninos-enzimas pueden inhibir la actividad enzimática ruminal (Kumar y D'Mello, 1995). También se conoce que aquellas especies arbustivas con alto contenido de fenoles/taninos, influyen negativamente en el estado nutricional de las cabras, reduciendo el consumo de forraje, la digestibilidad del mismo y la retención de nitrógeno (Holechek *et al.*, 1990). Con respecto al efecto negativo que ejerció la MO sobre la digestibilidad de la MS, PC y FDN, pudo deberse principalmente al contenido de taninos como es el caso de *B. celastrina*, o que aparte de este factor antinutrimental contengan principios activos o sustancias tóxicas como son los casos de *C. texana*, *K. humboldtiana* y *L. tridentata* (González, 1989; Bermúdez *et al.*, 1995; Ramírez, 1996 y Mangione *et al.*, 2000), los cuales se incrementan con la madurez de las plantas (como en la estación de otoño), y una vez que son consumidas por pequeños rumiantes, pueden disminuir la actividad enzimática de los microorganismos del rumen o inactivar las enzimas digestivas del rumen o del tracto digestivo, por lo que se reduce el consumo de forraje y la utilización de proteínas de las plantas (Ramírez y Lara, 1998).

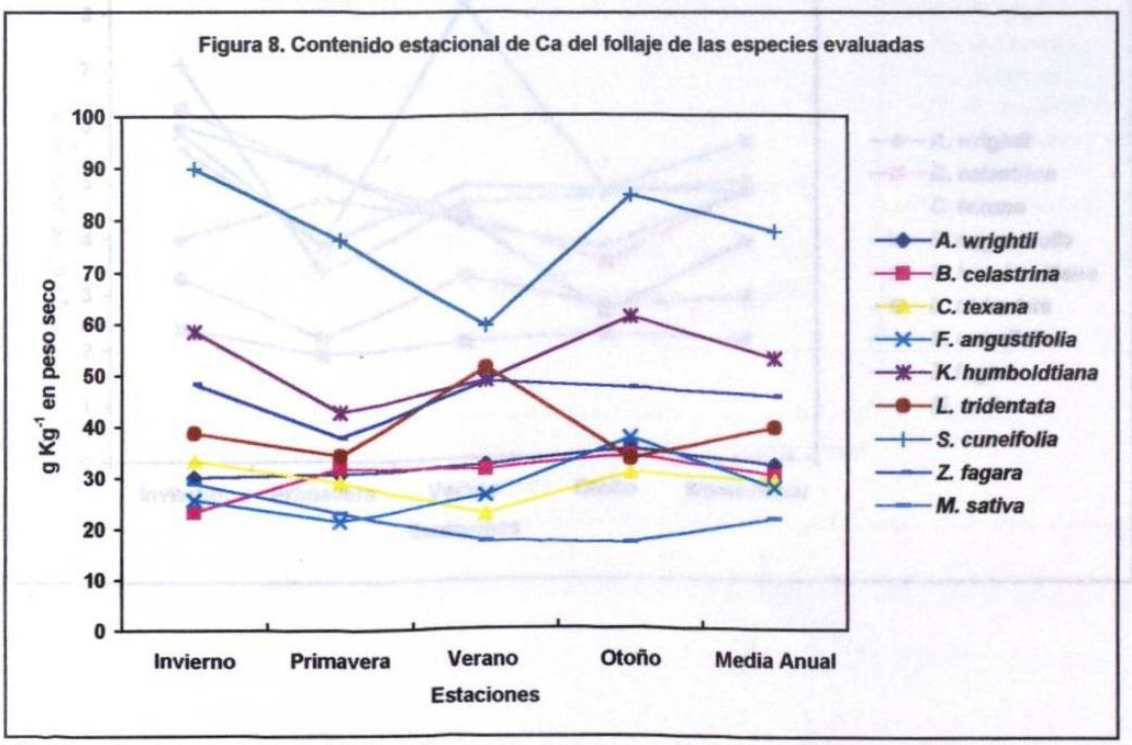
El efecto positivo que ejerció la FDN sobre la DEMS, la DEPC y la DEFDN, probablemente se debió a que la mayoría de las plantas evaluadas (*C. texana*, *F. angustifolia*, *K. humboldtiana*, *S. cuneifolia* y Z. fagara), tuvieron un mayor contenido de hemicelulosa que de celulosa; además, tres de ellas (*F. angustifolia*, *K. humboldtiana* y *S. cuneifolia*) presentaron niveles equivalentes o superiores de este nutriente que el de *M. sativa*, y también cinco de las especies evaluadas (*F. angustifolia*, *K. humboldtiana*, *L. tridentata*, *S. cuneifolia* y *Z. fagara*) tuvieron niveles inferiores de lignina que *M. sativa*.

D) NUTRIMENTOS MINERALES EN LAS PLANTAS EVALUADAS

Macronutrimentos

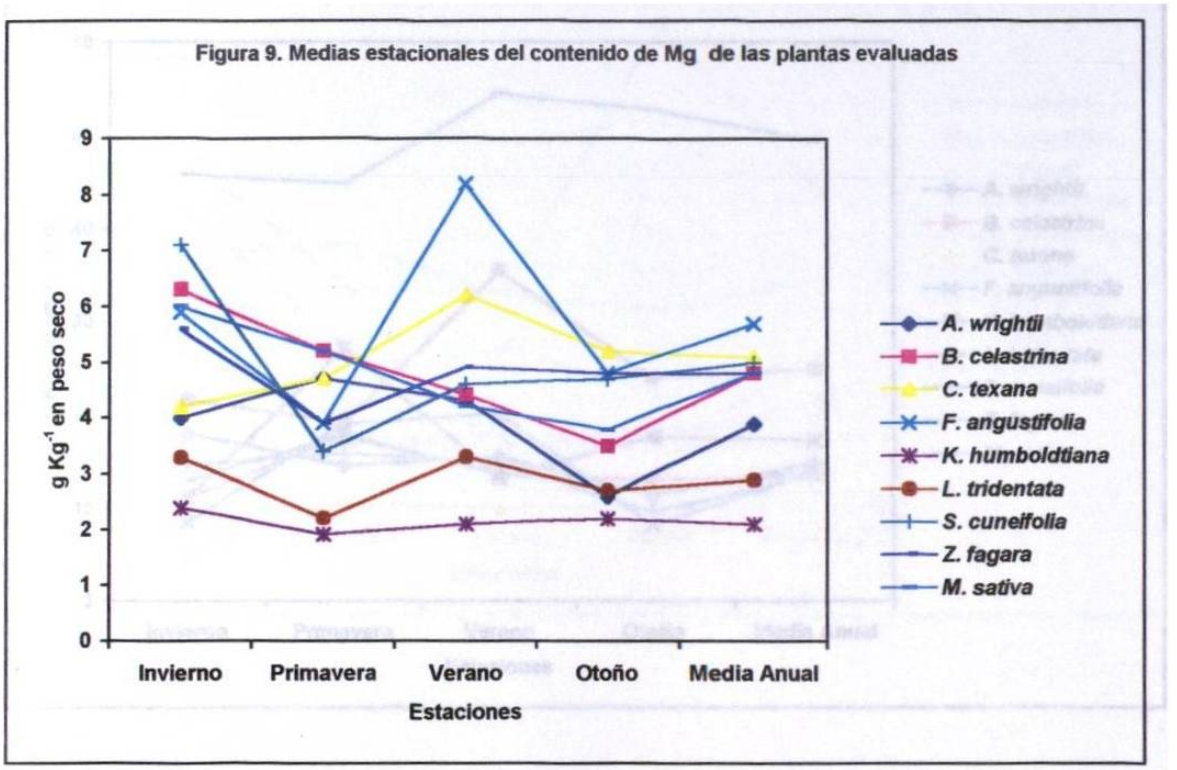
El contenido de Ca varió estacionalmente ($P<0.001$) en las plantas evaluadas (Figura 8 y Anexo 27). Durante el invierno y otoño las plantas resultaron con mayor contenido de Ca. *S. cuneifolia* fue la que registró la media anual más alta (77.3 g Kg^{-1}) y la más baja fue

obtenida por *F. angustifolia* (27.6 g Kg^{-1}). Aun cuando el contenido de Ca fue variable en las plantas, éste fue suficiente para cubrir el nivel requerido en la dieta de una cabra adulta que es de 1.8 a 3.3 g Kg^{-1} de MS del forraje (NRC, 1981; Kessler, 1991). Sin excepción, todas las plantas, en todas las estaciones mostraron más Ca que *M. sativa*. Aparentemente las plantas arbustivas que crecen en las regiones semiáridas (Barnes *et al.*, 1990; Ramírez *et al.*, 2001) y tropicales (Norton *et al.*, 1995), tienen suficiente Ca para el desarrollo óptimo de los rumiantes que pastorean en esas áreas.



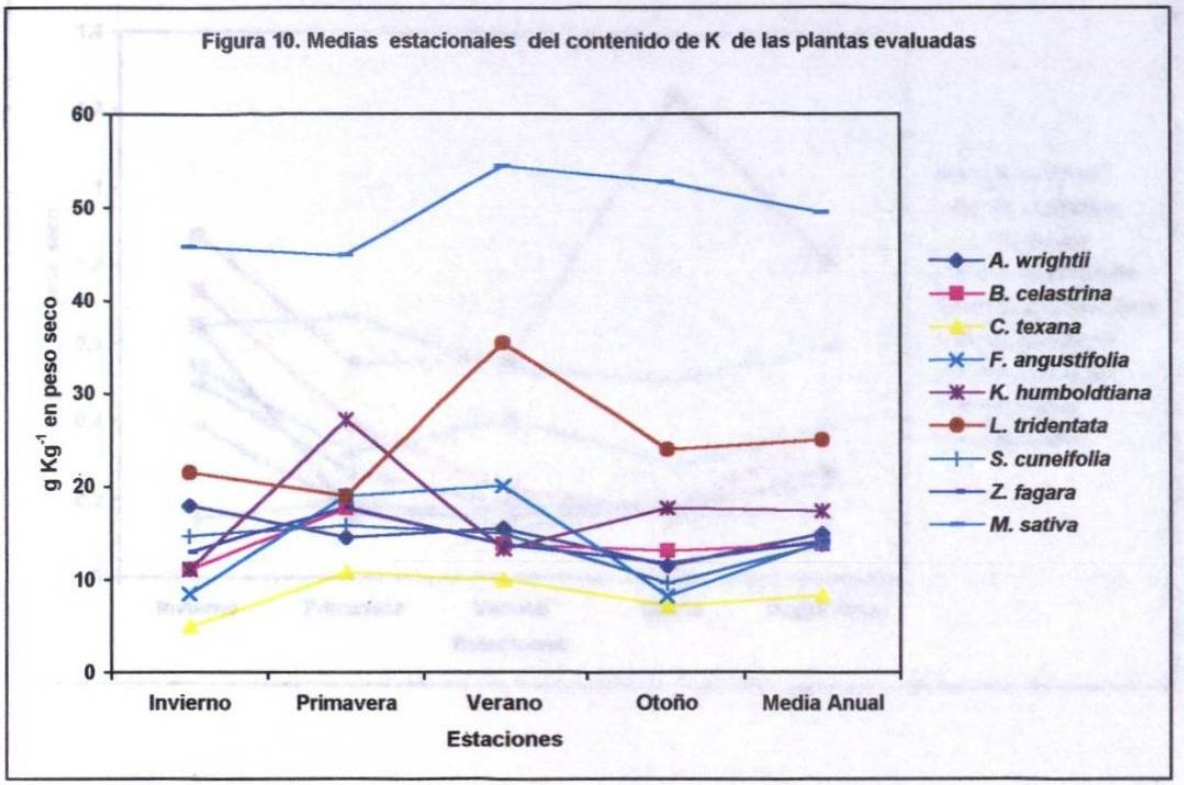
El contenido de Mg de todas las arbustivas varió significativamente entre estaciones (Figura 9 y Anexo 28). Sin embargo, las arbustivas mostraron contenidos por encima del nivel requerido en la dieta de las cabras adultas, que varía de 0.8 a 2.5 g Kg^{-1} de MS del forraje (NRC, 1981). También se encontró que el promedio anual más alto (5.7 g Kg^{-1}) de Mg se presentó en *F. angustifolia* y el más bajo (2.1 g Kg^{-1}) en *K. humboldtiana*. Se ha reportado

que arbustivas de regiones semiáridas (Everitt *et al.*, 1981; Barnes *et al.*, 1990; Ramírez *et al.*, 2001) contienen niveles aceptables de Mg para la dieta de las cabras y también se conoce que algunas leguminosas tropicales edibles, comúnmente tienen concentraciones de Mg que satisfacen los requerimientos de los rumiantes (Norton *et al.*, 1995).



La media anual más alta de K se observó en *L. tridentata* y *K. humboldtiana*, presentando la primera su nivel más alto en verano y la segunda en primavera (35 y 27 g Kg^{-1} respectivamente), en cambio el nivel más bajo lo registró *C. texana* (5.0 g Kg^{-1}) en invierno (Fig. 10 y Anexo 29). Aun cuando el contenido de K en todas las arbustivas varió significativamente entre estaciones, el nivel de K estuvo por encima del requerido en la dieta de las cabras adultas, que varía de 1.8 a 2.5 g Kg^{-1} de MS del forraje (NRC, 1981). Se tienen referencias de que las especies arbustivas de regiones semiáridas de Texas, EUA (Everitt *et al.*, 1981; Barnes *et al.*, 1990) y de Nuevo León, México (Ramírez *et al.*, 2001), así

como también algunas leguminosas tropicales (Spears, 1994), contienen niveles adecuados de K para cubrir los requerimientos de las cabras en pastoreo.



Con excepción de *L. tridentata*, todas las arbustivas evaluadas mostraron contenidos de Na inferiores al de *M. sativa* (0.6 g Kg^{-1}). La mayoría de las arbustivas presentaron el nivel más alto de Na en invierno y el más bajo en otoño (Figura 11 y Anexo 30), pero solo *L. tridentata* en las cuatro estaciones tuvo niveles suficientes para cubrir los requerimientos de la dieta de las cabras adultas que varía de 0.6 a 1.0 g Kg^{-1} de MS del forraje (NRC, 1981; NRC, 1984). También se ha encontrado deficiencia de Na durante las cuatro estaciones del año en arbustivas que se estudiaron al sur de Texas, EUA. (Everitt *et al.*, 1981), y además hay reportes donde se establece que las leguminosas tropicales contienen bajos niveles de este mineral (Norton *et al.*, 1995).