



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

---

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS  
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

## CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ

POSGRADO EN  
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

### **FÓSFORO Y PROTEÍNA CRUDA EN PLANTAS PREFERIDAS POR EL BORREGO CIMARRÓN (*Ovis canadensis mexicana*), REQUERIMIENTOS Y BALANCE NUTRICIONAL**

**MARTHA SUSANA BAUTISTA DE LUNA**

### **T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS**

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México  
Mayo, 2021

---



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

## CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el (la) que suscribe Martha Susana Bautista De Luna, alumno(a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del (la) Profesor(a) Lois Antonio Tarango Arcámbula, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Fósforo y proteína cruda en plantas preferidas por el borrego cimarrón (Ovis montanus mexicana), requerimientos y balance nutricional y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El (la) Consejero (a) o Director (a) de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, a 16 de Junio de 2021.

Firma

Vo. Bo. Profesor(a) Consejero(a) o Director(a) de Tesis

La presente tesis, titulada: **Fósforo y proteína cruda en plantas preferidas por el borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*), requerimientos y balance nutricional**, realizada por la alumna **Martha Susana Bautista De Luna**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS  
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

CONSEJO PARTICULAR

**CONSEJERO:  
(Director de Tesis)**

  
\_\_\_\_\_  
DR. LUIS ANTONIO TARANGO ARÁMBULA

**CO-DIRECTOR**

  
\_\_\_\_\_  
DR. DAVID GERMÁN MENDOZA MARTÍNEZ

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
DR. GENARO OLMOS OROPEZA

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
DR. JUAN FELIPE MARTÍNEZ MONTOYA

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
DR. SAÚL UGALDE LEZAMA

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí  
Mayo, 2021

# **FÓSFORO Y PROTEÍNA CRUDA EN PLANTAS PREFERIDAS POR EL BORREGO CIMARRÓN (*Ovis canadensis mexicana*), REQUERIMIENTOS Y BALANCE NUTRICIONAL**

**Martha Susana Bautista De Luna, MC**

**Colegio de Postgraduados, 2021**

## **RESUMEN**

La nutrición del borrego cimarrón está vinculada a su metabolismo y repercute directamente en la sobrevivencia de los individuos y en su dinámica poblacional. El objetivo de esta investigación fue analizar el contenido y valor nutricional del fósforo y proteína cruda de la dieta estacional de otoño y en heces de borrego cimarrón colectadas en la UMA Rancho Noche Buena, Hermosillo, Sonora. Durante el otoño de 2018 y 2019, se recolectaron 37 especies de plantas y en 2018, 40 grupos de heces. El contenido de fósforo en las muestras se determinó mediante espectrofotometría y la proteína cruda por el método de combustión Dumas y Kjeldahl. Se estimó el balance nutricional de fósforo y proteína cruda, y se calculó el coeficiente de correlación de Pearson de las concentraciones fecales. El contenido de fósforo fue mayor en arbustos y herbáceas, y el contenido de proteína cruda fue mayor en árboles y arbustos. El aporte de fósforo fue 1.39 g/kg, el de proteína en 2018 de 125 g y en 2019 de 93.9 g. Las especies arbustivas y arbóreas fueron las que presentaron el mayor contenido de fósforo y de proteína cruda. Las especies que tuvieron mayor aporte de fósforo y proteína cruda a la dieta fueron *Acacia willardiana*, *Mascagnia macroptera*, *Hibiscus denudatus* y *Simmondsia chinensis*. El balance nutricional de fósforo resultó negativo para todas las etapas fisiológicas de ovinos, en tanto, el balance de proteína cruda en 2018 fue negativo para el crecimiento de corderos, y en 2019, fue negativo para lactancia temprana y crecimiento de corderos. El valor promedio del contenido de nitrógeno fecal fue de 1.74 % y el de fósforo de 0.33 %, su coeficiente de correlación fue 0.62. El aporte de fósforo y proteína cruda se relacionó más con su porcentaje de consumo que con el contenido de nutrientes. Con la estimación del balance nutricional se demostró las deficiencias que enfrenta el borrego cimarrón con respecto a la dieta consumida durante el periodo de estudio.

**PHOSPHORUS AND CRUDE PROTEIN ON PLANTS PREFERRED BY THE  
BIGHORN SHEEP (*Ovis canadensis mexicana*), REQUIREMENTS AND  
NUTRITIONAL BALANCE**

**Martha Susana Bautista De Luna, MC**

**Colegio de Postgraduados, 2021**

**ABSTRACT**

The nutrition of the bighorn sheep is linked to its metabolism and has a direct impact on the survival of individuals and its population dynamics. The objective of this research was to analyze the content and nutritional value of phosphorus and crude protein in the seasonal autumn diet and feces of bighorn sheep collected at the UMA Rancho Noche Buena, Hermosillo, Sonora. During the fall of 2018 and 2019, 37 plant species were collected and in 2018, 40 groups of feces. During the fall of 2018 and 2019, 37 plant species were collected and, in 2018, 40 groups of feces. The phosphorus content in the samples was determined by spectrophotometry and the crude protein by the Dumas combustion and Kjeldahl method. The nutritional balance of phosphorus and crude protein was estimated, and the Pearson correlation coefficient of fecal concentrations was calculated. The phosphorus content was higher in shrubs and forbs, and the crude protein content was higher in trees and shrubs. The contribution of phosphorus was 1.39 g/kg, of the protein in 2018 was 125 g and in 2019 it was 93.9 g. The shrub and tree species were those that presented the highest content of phosphorus and crude protein. The species that had the highest contribution of phosphorus and crude protein to the diet were *Acacia willardiana*, *Mascagnia macroptera*, *Hibiscus denudatus* and *Simmondsia chinensis*. The nutritional phosphorus balance was negative for all physiological stages of sheep, while the crude protein balance in 2018 was negative for the growth of lambs, and in 2019, it was negative for early lactation and growth of lambs. The average value of the fecal nitrogen content was 1.74% and of phosphorus 0.33%, its correlation coefficient was 0.62. The contribution of phosphorus and crude protein was more related to the percentage of consumption than to the content of nutrients. With the estimate of the nutritional balance, it was showed the deficiencies faced by the bighorn sheep regarding its diet during the study period.

## **DEDICATORIA**

*A todos esos seres que afortunadamente he encontrado en mi camino y que le han dado forma a la misma.*

## AGRADECIMIENTOS

*Al Consejo de Ciencia Nacional y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para mis estudios de maestría.*

*Al Colegio de Postgraduados por brindarme la oportunidad de obtener el grado de Maestra en Ciencias.*

*Al Campus San Luis Potosí del Colegio de Postgraduados por la hospitalidad y apoyo durante el transcurso de mis estudios de maestría.*

*A los profesores que integraron mi Consejo Particular, Dr. Luis Antonio Tarango Arámbula, Dr. Genaro Olmos Oropeza, Dr. Juan Felipe Martínez Montoya, Dr. David Germán Mendoza Martínez y Dr. Saúl Ugalde Lezama, por guiarme en el desarrollo del estudio, por sus aportes, enseñanzas y sobre todo por su ejemplo y apoyo.*

*A los profesores y personal de apoyo del Campus San Luis Potosí por su constante ayuda e incansable labor.*

*A los profesores Dr. Cesáreo Landeros Sánchez, Dra. Galdy Hernández Zárate, Técnico Nora Hernández Avendaño y demás personal del Laboratorio Agua-Suelo-Plantas del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, por brindarme su apoyo en el análisis de muestras para la realización de mi proyecto de investigación.*

*A Raúl Peralta Pardo por brindarme ayuda en cada momento de mi maestría.*

*A la Dra. Alejandra Olivera Méndez por su apoyo constante.*

*A mis amigos que hicieron de mi estancia en el COLPOS una grata experiencia.*

*Al MVZ Roberto Noriega Valdez y a Jorge Noriega Valdez por permitirme el acceso a la UMA Rancho Noche Buena, además de su hospitalidad y disposición para la realización del presente trabajo.*

*A los chicos que laboran en Rancho Noche Buena, Carlos, José y Gabriel por el apoyo que me brindaron durante el trabajo de campo, y sobre todo por su amistad.*

# CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>OBJETIVOS</b> .....	4
<b>General</b> .....	4
<b>Particulares</b> .....	4
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	5
<b>Descripción del área de estudio</b> .....	5
<b>Recolección de muestras de especies vegetales y heces</b> .....	7
<b>Preparación y análisis de las muestras en laboratorio</b> .....	8
<b>Requerimientos y balance nutricional de fósforo y proteína cruda</b> .....	11
<b>Análisis estadístico</b> .....	13
<b>RESULTADOS</b> .....	14
<b>Contenido y aporte de fósforo y proteína cruda en la dieta</b> .....	14
<b>Balance nutricional de fósforo y proteína cruda de la dieta</b> .....	17
<b>Nitrógeno y fósforo fecal</b> .....	18
<b>DISCUSIÓN</b> .....	20
<b>Contenido y aporte de fósforo y proteína cruda en la dieta</b> .....	20
<b>Balance nutricional de fósforo y proteína cruda</b> .....	23
<b>Nitrógeno y fósforo fecal</b> .....	26
<b>CONCLUSIONES</b> .....	29
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	30

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Requerimientos de proteína cruda, fósforo y consumo de materia seca en borregos domésticos (NRC, 2007).....	12
Cuadro 2. Contenido y aporte de proteína cruda (PC) y fósforo (P) de la dieta estacional de borrego cimarrón ( <i>Ovis canadensis mexicana</i> ), de acuerdo a la forma botánica, en la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México.....	14
Cuadro 3. Contenido y aporte de proteína cruda (PC) y fósforo (P) de la dieta estacional de borrego cimarrón ( <i>Ovis canadensis mexicana</i> ) en la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México. ....	15
Cuadro 4. Ingesta, balance nutricional y consumo de materia seca (CMS) para satisfacer los requerimientos de proteína cruda (PC) y fósforo (P) del borrego cimarrón ( <i>Ovis canadensis mexicana</i> ) en la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México. ....	17
Cuadro 5. Contenido de nitrógeno fecal (NF) y fósforo fecal (PF) de borrego cimarrón ( <i>Ovis canadensis mexicana</i> ) durante el otoño de 2018 en la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México. ....	18
Cuadro 6. Coeficiente de correlación de Pearson entre los índices fecales de borrego cimarrón .....	19

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la UMA Rancho Noche Buena, Municipio de Hermosillo, Sonora, México.....	5
Figura 2. Distribución de la precipitación durante 10 años en la zona correspondiente a la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México. Fuente: NASA-EARTHDATA, GIOVANNI V 4.34 (2020). .....	6

## INTRODUCCIÓN

El borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) es una especie que habita desde el suroeste de Canadá, oeste de Estados Unidos hasta el norte de México (Medellin *et al.*, 2005). Del total de subespecies conocidas, en México, habitan tres: *O. c. cremnobates*, *O. c. weemsi* y *O. c. mexicana* (Sandoval *et al.*, 2014). La subespecie *O. c. mexicana*, en México, originalmente se distribuyó en los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila y Nuevo León; actualmente, su distribución natural solo se limita al noroeste de Sonora (Espinosa-Treviño *et al.*, 2006; Sandoval *et al.*, 2014). Dada la condición actual de las poblaciones de borrego cimarrón en México y su tendencia a disminuir por el cambio de uso de la tierra y la cacería ilegal, esta se considera una especie prioritaria para la conservación y sujeta a protección especial por la legislación mexicana (SEMARNAT, 2019). En el norte de México, particularmente el estado de Sonora, el aprovechamiento cinegético del borrego cimarrón es una actividad importante y la que se ha planteado como una herramienta para su conservación; en la actualidad, este modelo de aprovechamiento se reconoce como uno de los más exitosos en la gestión de fauna silvestre en el país (Pelz-Serrano *et al.*, 2006; Valdez *et al.*, 2006; González *et al.*, 2011).

El borrego cimarrón es un organismo cuyas características y estrategias de supervivencia le han permitido adaptarse a ambientes desérticos (Sandoval *et al.*, 2014). La selección de alimentos se supone como una de las estrategias principales que le permiten afrontar periodos de sequía y temperaturas altas prolongadas (Cain *et al.*, 2006). El borrego cimarrón se considera un ungulado ramoneador, capaz de seleccionar las partes de las plantas que le brindan el mayor beneficio nutritivo (Bleich *et al.*, 1997). Su dieta está compuesta principalmente por especies de arbustos, árboles, herbáceas y suculentas, las cuales selecciona de acuerdo a su disponibilidad y valor nutritivo (Tarango *et al.*, 2002; Brewer y Harveson, 2007; Guerrero-Cárdenas *et al.*, 2018). El aporte nutritivo de los alimentos y su necesidad están ligados a procesos fisiológicos como el crecimiento, reproducción, respuesta contra la depredación y enfermedades, entre otros, y que se reflejan en su dinámica poblacional (Marshall *et al.*, 2005; McKinney *et al.*, 2006).

Por ello, la calidad nutritiva de los alimentos se ha convertido en la base para el manejo de ungulados domésticos y silvestres (Krausman *et al.*, 1990). Si bien cada nutriente representa una función importante en el organismo, el manejo nutricional se ha enfocado a aquellos

nutrientes que son indispensables para la sobrevivencia, o bien, aquellos que permiten a los organismos expresar su máximo potencial productivo (Cunha, 1983). Del total de nutrientes que se encuentran en los alimentos, la proteína y el fósforo son considerados de los más importantes para la sobrevivencia de los organismos bajo condiciones ambientales extremas (McKinney *et al.*, 2006; Poppenga *et al.*, 2012). La proteína representa uno de los compuestos más importantes en la nutrición de los animales, se concibe como limitante en procesos vitales como el crecimiento y la reproducción (Barboza *et al.*, 2009). Con respecto al borrego cimarrón, se ha observado una relación importante entre el consumo de proteína y su sobrevivencia en ambientes áridos (Gedir *et al.* 2016; Cain *et al.*, 2017). El fósforo, por su parte, además de ser un constituyente esencial en el sistema esquelético animal, es considerado un elemento que se asocia con un funcionamiento correcto del rumen, debido a que las bacterias celulolíticas dependen de él para romper las paredes celulares vegetales y su deficiencia tiene implicaciones importantes en la absorción de nutrientes (Orellana *et al.*, 2020). En ecosistemas áridos del suroeste de Estados Unidos, y posiblemente en los del noroeste de México, la concentración de fósforo en el alimento es limitante para las poblaciones de ungulados ya que su presencia en el forraje se relaciona directamente con la cantidad de precipitación (McKinney *et al.*, 2006).

Para determinar la importancia que tiene el nitrógeno y el fósforo en la nutrición de ungulados se han utilizado indicadores como el nitrógeno y el fósforo fecal. El análisis de heces como indicadores nutricionales, ha ofrecido una alternativa no invasiva y de menor costo para conocer el estado nutricional de especies silvestres, donde su manejo implica esfuerzos significativos para su captura, toma de muestras y análisis de las mismas (Leslie *et al.*, 2008). La pertinencia de los índices fecales como indicadores del estado nutricional ha sido cuestionado, algunos autores afirman que el nitrógeno y fósforo fecal no pueden reflejar con precisión la calidad de la dieta, puesto que se deriva de varias fuentes y no todas se relacionan directamente, además, de que puede ser afectado por metabolitos secundarios presentes en algunas plantas que consumen los ungulados (Robbins *et al.*, 1987; Wehausen, 1995; Leslie *et al.*, 2008). Sin embargo, se ha encontrado relación entre el nitrógeno y fósforo fecal con el contenido de proteína bruta y fósforo de la dieta, por lo que estos índices se siguen empleando para evaluar el estado nutricional de animales domésticos y silvestres (Leslie *et al.*, 2008; Schwarm *et al.*, 2008; Orellana *et al.*, 2020).

La evaluación de la proteína y el fósforo en las especies vegetales que componen la dieta del borrego cimarrón y en heces (muestras fecales), permiten un acercamiento a su estado nutricional. Este conocimiento puede utilizarse como base para la implementación de estrategias que permitan manejar el hábitat, con la finalidad de favorecer el crecimiento de especies vegetales importantes en la nutrición del borrego cimarrón. De manera general, estas evaluaciones son una herramienta importante para generar estrategias de manejo y contribuir en la sobrevivencia y conservación de sus poblaciones. Por ello, el objetivo del presente estudio fue analizar el contenido y valor nutricional del fósforo y la proteína cruda en la dieta estacional y heces de borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*) en la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Analizar el contenido y valor nutricional de fósforo y proteína cruda de las plantas de la dieta estacional del borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*) en la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México

### **Particulares**

Determinar el contenido y aporte de fósforo y proteína cruda de las plantas de la dieta estacional del borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*).

Calcular el balance nutricional de fósforo y proteína cruda de plantas de la dieta estacional del borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*).

Determinar el contenido de nitrógeno y fósforo fecal de muestras de borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

El presente estudio se realizó en la Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) Rancho Noche Buena, perteneciente al municipio de Hermosillo, Sonora, México. La UMA Rancho Noche Buena se localiza a 120 km al noreste de Hermosillo y a 14.2 km del Golfo de California ( $29^{\circ} 12' 19.45''\text{N}$ ,  $112^{\circ} 0' 22.80''\text{O}$ ; (Figura 1). Comprende una superficie de 16,800 ha, su altitud va de los 20 a los 1,060 msnm, en su topografía resalta una gran planicie en la zona central y un área montañosa en la porción este, llamada Sierra Noche Buena y Sierra Pico Johnson cuya superficie es de 5,063 hectáreas (SAGARHPA, 2020). Esta sierra provee hábitat al borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*) y al venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), y en las planicies habita el venado bura (*Odocoileus hemionus*).

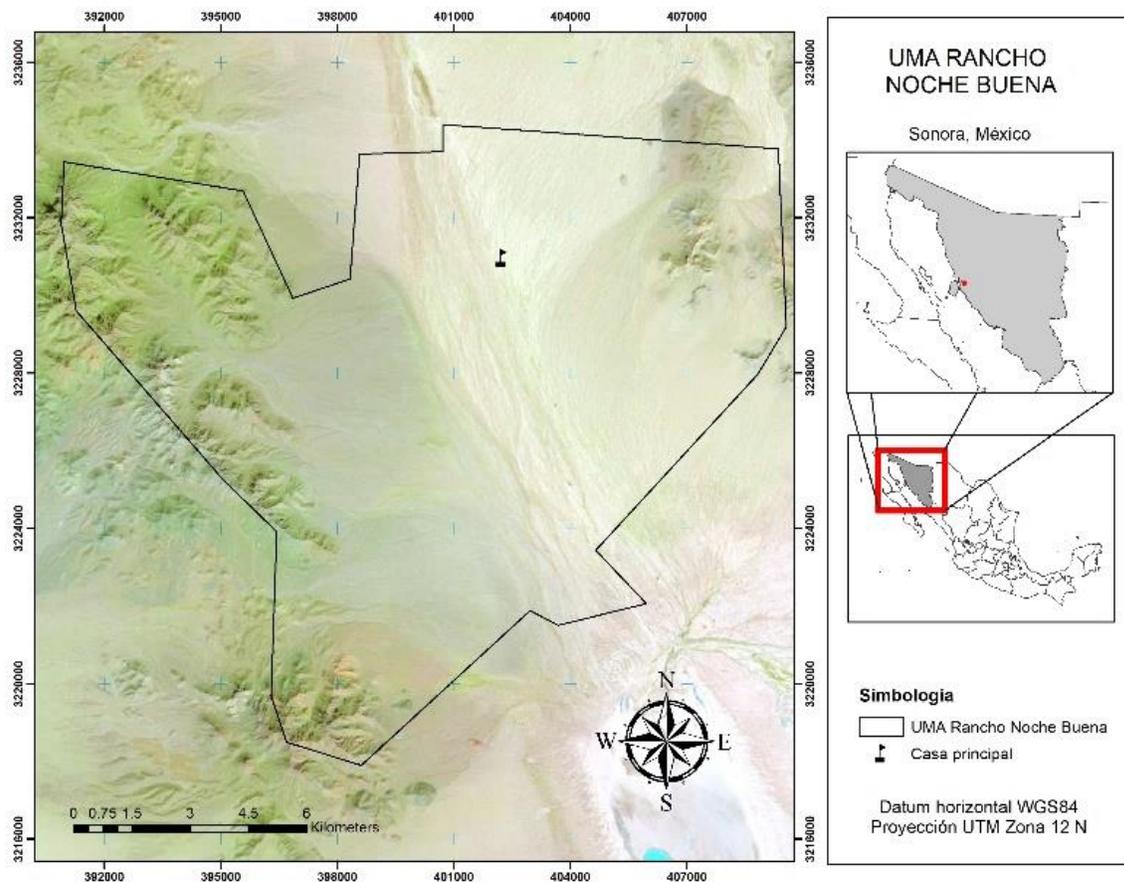


Figura 1. Ubicación de la UMA Rancho Noche Buena, Municipio de Hermosillo, Sonora, México.

En esta área, el clima es BWH(x') categorizado como muy árido, semicálido, con lluvias repartidas todo el año y las invernales mayores al 18%, su temperatura media anual se encuentra entre 18 y 22 °C (García, 2004). De acuerdo con la estación meteorológica El Carrizal, las temperaturas promedio anuales son 21.9 °C la media, 12.2°C la mínima y 31.8°C la máxima, la precipitación media anual es de 172.9 mm (SMN, 2010). Durante el estudio, la precipitación fue de 182 mm en 2018 y 228 mm en 2019 (NASA-EARTHDATA, 2020) (Figura 2).

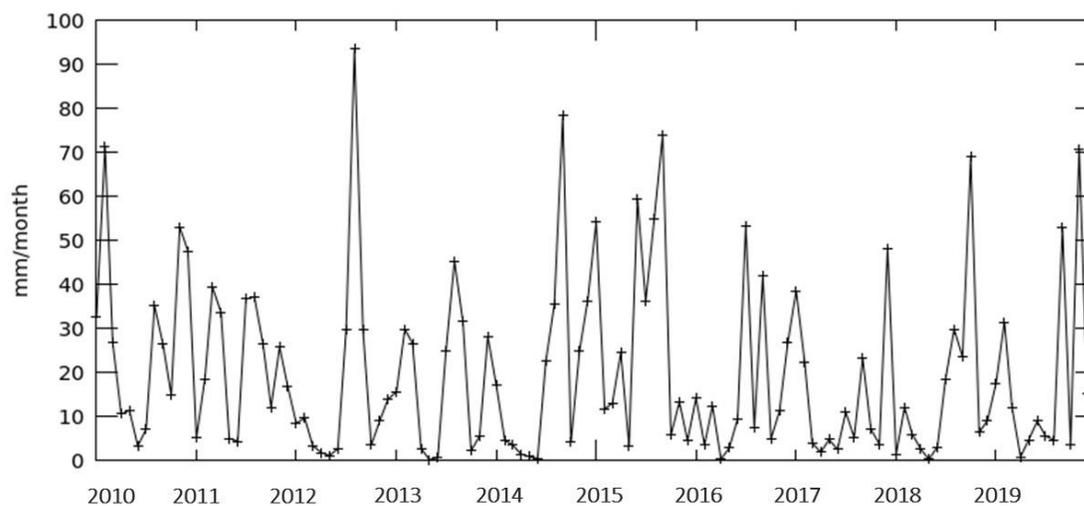


Figura 2. Distribución de la precipitación durante 10 años en la zona correspondiente a la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México. Fuente: NASA-EARTHDATA, GIOVANNI V 4.34 (2020).

En de la UMA predominan tres tipos de vegetación, el matorral sarcocauléscente, el matorral arbosufrutescente y el matorral crasicauale. El primero se caracteriza por la presencia de especies arbustivas de baja altura y tallos suculentos, dicho matorral cuenta con especies como *Parkinsonia microphylla*, *Cylindropuntia fulgida*, *Olneya tesota*, *Bursera microphylla*, *Jatropha cinerea*, *Jatropha cuneata*, *Fouquieria spendens* y *Acacia willardiana*. El matorral arbosufrutescente se distingue por la asociación de árboles y arbustos de talla baja con cactáceas columnares, dominan especies como *Encelia farinosa*, *Larrea tridentata*, *O. tesota*, *P. microphylla*, *Prosopis juliflora*, *Stenocereus thurberi*, *Carnegiea gigantea*, *Lophocereus schottii* y *Pachycereus pringlei*. El matorral crasicauale se caracteriza por la dominancia de *P. microphylla*, *C. gigantea* y *P. pringlei*, también se encuentra *A. willardiana*, *P. juliflora*, *L. tridentata*, *E. farinosa*, *O. tesota* y *Ferocactus spp.* (Alcalá et al., 2016; León et al., 2018).

## **Recolección de muestras de especies vegetales y heces**

Previo a este estudio, Peralta (2020) determinó la composición de la dieta del borrego cimarrón para el periodo de otoño de 2018. Él identificó 37 especies vegetales que constituyeron el 91.5% de la dieta, el porcentaje restante correspondió a fragmentos no identificados y a no identificables. Con esta información como referencia, se procedió a la recolección del total de plantas que compusieron la dieta del borrego cimarrón, con el propósito de analizar su contenido de fósforo y proteína cruda.

### *Recolección de muestras de especies vegetales*

La recolección de material vegetal se realizó en el otoño de 2018 (agosto a octubre) y el otoño de 2019 (noviembre a diciembre). La recolección, se realizó en las zonas de alimentación de los borregos, las cuales se identificaron mediante la observación de individuos con binoculares (Vortex ® 15×56) y telescopio (Vortex ® 60×85), durante las horas de mayor actividad (de 07:00 a 09:30 y de 17:00 a 19:00 horas). Una vez que los borregos abandonaban las áreas de forrajeo, se arribaba a ellas y se iniciaba la recolecta de muestras de plantas. Las muestras consistieron de hojas nuevas y maduras. También se recolectaron flores y frutos, y en ocasiones plantas completas con fines de identificación taxonómica.

La identificación taxonómica del material recolectado en 2018 se realizó con el apoyo del Dr. Diego Valdez Zamudio, especialista en la vegetación del estado de Sonora, además de la consulta de colecciones en base de datos y bibliografía referentes a la flora del noroeste de México (Shreve, 1951; León *et al.*, 2018; SEINet, 2020). La identificación del material recolectado en 2019 fue realizada con el apoyo del personal del Herbario de la Universidad de Sonora, además de la consulta en colecciones de bases de datos (SEINet, 2020).

### *Recolección de heces*

Las heces de borrego cimarrón se recolectaron durante agosto a octubre del 2018. Dichas heces, se recolectaron en el área de forrajeo del borrego y la mayoría de ellas fueron muestras frescas, las cuales fueron recolectadas cuando los animales abandonaron las zonas de alimentación. Las muestras fueron recolectadas en un radio de 200 m dentro de las áreas de forrajeo y todas ellas se mezclaron para formar una muestra compuesta. Las muestras se recolectaron en bolsas de papel, se identificaron, deshidrataron a temperatura ambiente y

almacenaron hasta su análisis en el laboratorio de Agua Suelo y Planta del Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí.

### **Preparación y análisis de las muestras en laboratorio**

Previo a los análisis de laboratorio, todas las muestras de las especies vegetales y heces se secaron en una estufa de secado Felisa (modelo FE-292D, México) a 60 °C hasta que alcanzaron un peso constante de acuerdo con el método 934.01 de la AOAC (AOAC, 1965). Posteriormente cada muestra fue molida en un molino Wiley Mini-Mill® (modelo 3383-L10, Thomas Scientific, Swedesboro, NJ 08085-0099- U.S.A.) con un tamiz de malla de 1 mm y se conservó hasta su análisis.

#### *Determinación de materia seca de laboratorio*

Se empleó el método 934.01 de la AOAC (AOAC, 1965) para determinar el contenido de materia seca de laboratorio de las muestras de plantas y heces. Para ello, se colocaron crisoles en un horno eléctrico de secado (modelo 9023<sup>a</sup>, Ecoshel, U.S.A.) con una temperatura de 105 °C durante 24 horas, posteriormente fueron colocados en un desecador por un lapso de 1 hora para su enfriamiento y en seguida se registró su peso en una balanza analítica (modelo EP214D, Ohaus® Explorer® Pro, U.S.A.). A continuación, a cada crisol se le añadió 1 gramo de muestra en base seca y por cada muestra se realizaron dos réplicas. Los crisoles fueron colocados en el horno eléctrico de secado con una temperatura de 105 °C durante 24 horas, pasado este tiempo, los crisoles fueron colocados en un desecador por un lapso de 1 hora para su enfriamiento y en seguida se registró su peso. Para obtener el porcentaje de materia seca (MS) se empleó la ecuación siguiente:

$$\% MS = \frac{(\text{Peso del crisol con la muestra seca} - \text{Peso del crisol})}{(\text{Peso del crisol con la muestra sin secar} - \text{Peso del crisol})} \times 100$$

#### *Determinación de cenizas*

Se determinó la cantidad de cenizas para las muestras de heces fecales de borrego cimarrón. Para la determinación del porcentaje de cenizas se siguió la metodología empleada para la obtención de MS. Una vez que se registró el peso de los crisoles con las muestras secas, éstos se pasaron a una mufla (modelo MD-12-ESP, Novatech, México) para su incineración a una temperatura de 550 °C durante 5 horas, posteriormente se enfriaron en un desecador y luego

se pesaron en una balanza analítica. Para determinar el porcentaje de cenizas se empleó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Cenizas} = \frac{(\text{Peso de crisol con ceniza} - \text{Peso del crisol})}{(\text{Peso del crisol con la muestra seca} - \text{Peso del crisol})} \times 100$$

#### *Digestión ácida asistida por microondas*

Previo a la determinación del contenido de fósforo en plantas y heces, se realizó la digestión ácida asistida por microondas (DAAM), mediante el uso del digestor de microondas (modelo WX-6000, Prekem, China). Para la digestión ácida de cada muestra, se emplearon 0.5 g de muestra y 5 ml de ácido nítrico, se utilizó la programación del equipo sugerida para la digestión de alimentos compuesta de cuatro pasos; el primero, tuvo una temperatura de 120 °C con presión de 10 atmósferas por 3 minutos, el segundo se programó a 150 °C y 20 atmósferas por 3 minutos, el tercero se programó a 180 °C y 30 atmósferas por 3 minutos y finalmente el cuarto se programó a 200 °C y 40 atmósferas por 10 minutos; esta programación fue utilizada en dos ocasiones de manera continua para lograr la digestión de las muestras. Estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Agua, Suelo y Planta del Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí.

#### *Determinación de fósforo en las plantas y fósforo fecal*

El contenido de fósforo se determinó en únicamente 11 especies de plantas recolectadas en 2018 debido a la baja disponibilidad de material vegetal. En contraste, de la recolecta de 2019 se analizaron 31 especies. En heces, el contenido de fósforo se determinó en 40 grupos fecales de borrego cimarrón.

Los valores de fósforo fueron determinados por espectrofotometría con el método de ácido vanadomolibdofosfórico de acuerdo con la NMX-AA-029-SCFI-2001 (SE, 2001). Para ello, se empleó un espectrofotómetro de rango visible (modelo Genesys 10S vis, Thermo Fisher Scientific, U.S.A.) con una longitud de onda de 430 nm. Las lecturas de fósforo se realizaron con una disolución de reactivo nitromolibdovanadato y de la digestión ácida de la muestra, en una proporción 1:1, y un blanco compuesto por una disolución de reactivo nitromolibdovanadato y agua destilada.

Para la curva de calibración de fósforo se prepararon estándares en matraces de aforo de 100 ml con concentraciones de 10, 15, 20, 30, 35 y 40 ppm, a partir de una solución estándar de fósforo para absorción atómica de 1000 ppm (Karal, S.A. de C.V., 0.1% ácido fosfórico). Los valores que se obtuvieron de las lecturas de fósforo proveniente de las muestras, fueron comparados con la curva de calibración ( $R^2 = 0.9993$ ). Estas determinaciones fueron realizadas en el Laboratorio de Agua, Suelo y Planta del Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí.

#### *Determinación de proteína cruda en las plantas y nitrógeno fecal*

El contenido de proteína cruda se determinó en 37 especies de plantas recolectadas en 2018, sin embargo, de la recolecta de 2019 se analizaron 30 especies debido a que durante la recolecta en campo no se encontraron el resto de las especies. El nitrógeno fecal se determinó en 40 grupos fecales de borrego cimarrón. Para ello, se emplearon dos métodos en la determinación de nitrógeno, que a continuación son descritos.

Se empleó el método de combustión Dumas número 990.03 de la AOAC (AOAC, 1990) para determinar el contenido de nitrógeno de las plantas y de los grupos fecales recolectados en 2018. Se utilizó el equipo TruSpec N Analyzer (modelo 630-100-200, LECO, U.S.A.) el equipo fue calibrado con EDTA, y se empleó 0.1 g de muestra para la determinación de nitrógeno, por cada muestra se analizaron dos réplicas. El valor de proteína cruda de las plantas se obtuvo al multiplicar el valor de nitrógeno por el factor 6.25. Esta determinación se realizó en el Laboratorio de Agua, Suelo y Planta del Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí.

La determinación de nitrógeno para las muestras de plantas de 2019, se realizó con el método AS-25 por procedimiento de digestado Kjeldahl de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-F-68-S-1980 (SEPAFIN, 1980). El valor de nitrógeno se obtuvo mediante el uso de un digestor y destilador Kjeldahl, para ello, se utilizó un matraz Kjeldahl, al que se le agregó 1 g de muestra, 2 g de sulfato de cobre, 10 g de sulfato de sodio anhidro, 25 cm<sup>3</sup> de ácido sulfúrico y perlas de vidrio, a continuación, se colocó el matraz en el digestor y se calentó a baja temperatura hasta que el material quedó carbonizado, posteriormente la temperatura se aumentó hasta que la disolución se tornó clara. Después de enfriar, se añadieron 400 cm<sup>3</sup> de agua destilada, 3 gránulos de zinc y 50 cm<sup>3</sup> de hidróxido de sodio. En seguida se conectó al

sistema de destilación, mismo en que se encontraba colocado un matraz Erlenmeyer de 500 cm<sup>3</sup> con 50 cm<sup>3</sup> de ácido bórico y unas gotas de reactivo Shiro Tashiro, se destiló hasta que pasó todo el amoniaco, por último, se tituló con ácido clorhídrico 0.1 N. El cálculo del porcentaje de nitrógeno (N) y proteína cruda (PC) en base seca, se realizó de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ de nitrógeno} = \frac{V \times N \times 0.014 \times 100}{m}$$

En donde: V = Volumen de ácido clorhídrico empleado en la titulación (cm<sup>3</sup>).

N = Normalidad del ácido clorhídrico.

m = Masa de la muestra en g.

0.014 = Miliequivalente del nitrógeno.

El por ciento de proteína se obtuvo multiplicando el por ciento de nitrógeno obtenido por el factor 6.25.

$$\% PC = \% N \times 6.25$$

Esta determinación se realizó en el Laboratorio de Agua, Suelo y Planta del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

#### *Nitrógeno y fósforo fecal*

Los valores de nitrógeno y fósforo fecal de los grupos fecales fueron ajustados al restar el contenido de cenizas de cada muestra, con la finalidad de no incluir el material inorgánico proveniente del suelo.

#### **Requerimientos y balance nutricional de fósforo y proteína cruda**

El balance nutricional del borrego cimarrón se estimó con base a los nutrientes aportados por las plantas de la dieta estacional de borrego cimarrón de la UMA Rancho Noche Buena y a los requerimientos de fósforo y proteína cruda para borregos domésticos recomendados por el National Research Council (2007) (Cuadro 1). Los requerimientos se obtuvieron bajo el supuesto de que el peso corporal de las hembras de borrego cimarrón es de 50 kg, el de carneros es de 100 kg y se consideró el peso corporal para corderos de 20 kg. Con fines prácticos y debido a la dificultad de calcular la dieta para cada año, se partió del supuesto de

que en ambos años los borregos consumieron la misma dieta determinada en 2018 por Peralta (2020).

Cuadro 1. Requerimientos de proteína cruda, fósforo y consumo de materia seca en borregos domésticos (NRC, 2007).

Etapa	Peso corporal (kg)	Proteína cruda (g/día)	Fósforo (g/día)	Consumo de materia seca	
				% Peso vivo	MS (kg)
Mantenimiento de Oveja en pastizal	50	70	1.6	1.89	0.94
Mantenimiento de Carnero	100	128	3.1	1.77	1.77
Lactancia temprana de Oveja en pastizal	50	188	4.5	3.20	1.60
Lactancia tardía de Oveja en pastizal	50	165	2.9	3.60	1.80
Crecimiento de corderos	20	76	1.5	2.86	0.57

Para determinar el balance de fósforo y proteína cruda, primero se estimó la ingesta del nutriente con relación al consumo de materia seca para cada etapa fisiológica y al aporte de la dieta (Cuadro 1). Una vez que la ingesta del nutriente se obtuvo, ésta se comparó con el requerimiento correspondiente y se obtuvo el balance. Se consideró que los requerimientos de fósforo o proteína cruda se alcanzaron cuando la ingesta del nutriente fue igual o mayor al requerimiento y sus requerimientos no fueron satisfechos cuando la ingesta de nutrientes fue menor que el requerimiento. Adicionalmente, se estimó el consumo de materia seca necesaria para satisfacer las necesidades de fósforo y proteína cruda con base en los requerimientos de nutrientes y al aportado por la dieta. El consumo de materia seca necesario para satisfacer el requerimiento se estimó con dos adaptaciones a la fórmula propuesta por Moen y Scholtz (1981), las cuales se muestran a continuación:

Consumo de materia seca necesario para satisfacer las necesidades de proteína cruda ( $CMS_{PC}$ ):

$$CMS_{PC} = (Requerimiento \text{ g PC/d}) / (\text{g PC/Kg MS})$$

Consumo de materia seca necesario para satisfacer el requerimiento de fósforo ( $CMS_P$ ):

$$CMS_P = (Requerimiento \text{ g P/d}) / (\text{g P/Kg MS})$$

### **Análisis estadístico**

Para determinar la relación entre el nitrógeno fecal y el fósforo fecal se calculó el coeficiente de correlación de Pearson. Para ello, se utilizaron los valores promedio de fósforo y proteína de cada muestra.

## RESULTADOS

### Contenido y aporte de fósforo y proteína cruda en la dieta

#### Contenido de fósforo y proteína cruda en plantas

El contenido de fósforo en plantas recolectadas en 2018 y 2019, varió de 1.1 a 2.1 g en árboles, en arbustos de 0.8 a 4.0 g, en herbáceas de 0.7 a 3.3 g y en suculentas de 0.3 a 1.4 g (Cuadro 2). Las especies vegetales que, tuvieron la cantidad mayor de fósforo fueron: *Abutilon incanum*, *Tribulus terrestris*, *Trianthema portulacastrum*, *Dalea mollissima*, *Kallstroemia parviflora*, *Bursera microphylla*, *Melochia tomentosa* y *Acacia willardiana*. Por el contrario, las plantas que registraron los niveles más bajos fueron: *Allionia incarnata*, *Ditaxis lanceolata*, *Tidestromia lanuginosa*, *Ebenopsis confinis*, *Lycium berlandieri*, *Pachycereus pringlei*, *Carnegiea gigantea* y *Stenocereus thurberi* (Cuadro 3).

Cuadro 2. Contenido y aporte de proteína cruda (PC) y fósforo (P) de la dieta estacional de borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*), de acuerdo a la forma botánica, en la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México.

Forma botánica	Contenido $\bar{X}$ P 2018-2019 (g/kg)	Contenido $\bar{X}$ PC (g/kg)		Aporte P (g/kg)	Aporte PC (g/kg)	
		2018	2019		2018	2019
Árbol	1.5	150.5	134.7	0.40	31.4	27.9
Arbusto	1.7	159.7	113.4	0.71	74.2	55.8
Herbácea	1.7	183.2	90.3	0.15	15.2	4.1
Suculenta	0.8	40.4	43.6	0.13	4.7	6.1
<b>Total</b>				<b>1.39</b>	<b>125.5</b>	<b>93.9</b>

El contenido de proteína cruda en las formas botánicas evaluadas fue, en 2018, para los árboles de 116 a 213 g, en arbustos fue de 67 a 273 g, en herbáceas fue de 101 a 253 g y en suculentas fue de 32 a 63 g. Por su parte, en 2019, el contenido de proteína cruda en árboles fue de 119 a 155 g, en arbustos fue de 61 a 180 g, en herbáceas fue de 37 a 168 g y en suculentas fue de 26 a 55 g (Cuadro 2). Las especies recolectadas en 2018 que presentaron mayor contenido de proteína cruda fueron *Colubrina viridis*, *Euphorbia eriantha*, *Dalea mollissima*, *Tidestromia lanuginosa*, *Parkinsonia microphylla*, *Cardiospermum corindum*, *Tribulus terrestris*, *Mascagnia macroptera* y *Ebenopsis confinis*, mientras que las que presentaron los contenidos más bajos de la recolecta fueron en *Cyllindropuntia fulgida*, *Fouquieria splendens*, *Carnegiea gigantea*, *Pachycereus pringlei*, *Ferocactus wislizenii* y *Stenocereus thurberi*. Por su parte, las especies recolectadas en 2019 que presentaron el

mayor contenido de proteína cruda fueron *Mascagnia macroptera*, *Dalea mollissima*, *Colubrina viridis*, *Olneya tesota*, *Fouquieria splendens*, *Acacia willardiana*, *Jatropha cinerea*, *Ebenopsis confinis* y *Parkinsonia microphylla*, y las especies con el menor contenido de proteína cruda de la recolecta fueron *Euphorbia prostrata*, *Carnegiea gigantea*, *Ferocactus wislizenii*, *Stenocereus thurberi*, *Tidestromia lanuginosa*, *Cyllindropuntia fulgida* y *Pachycereus pringlei* (Cuadro 3).

Cuadro 3. Contenido y aporte de proteína cruda (PC) y fósforo (P) de la dieta estacional de borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*) en la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México.

No	Forma botánica	Especie	% dieta	Contenido P (g/kg)			Contenido PC (g/kg)		Aporte P (g/kg) 2018-2019	Aporte PC (g/kg)	
				2018	2019	$\bar{X}$	2018	2019		2018	2019
1	Árbol	<i>Acacia willardiana</i>	16.1	-	2.0	-	143.8	138.4	0.319	23.2	22.3
2	Arbusto	<i>Hibiscus denudatus</i>	11.1	-	1.7	-	139.8	73.8	0.193	15.6	8.2
3	Arbusto	<i>Mascagnia macroptera</i>	10.7	-	1.7	-	198.8	180.3	0.179	21.3	19.3
4	Arbusto	<i>Simmondsia chinensis</i>	9.1	-	1.0	-	116.9	105.1	0.092	10.7	9.6
5	Suculenta	<i>Ferocactus wislizenii</i>	7.7	0.8	1.6	1.2	32.7	53.2	0.091	2.5	4.1
6	Arbusto	<i>Ditaxis lanceolata</i>	4.2	-	0.9	-	149.8	83.5	0.037	6.3	3.5
7	Arbusto	<i>Senna covesii</i>	2.9	-	1.1	-	140.0	84.8	0.033	4.1	2.5
8	Arbusto	<i>Jatropha cinerea</i>	2.3	-	1.9	-	152.3	138.0	0.044	3.5	3.2
9	Arbusto	<i>Ebenopsis confinis</i>	2.0	-	0.8	-	194.6	130.2	0.017	3.9	2.6
10	Arbusto	<i>Justicia californica</i>	2.0	-	1.7	-	179.5	115.3	0.035	3.6	2.3
11	Herbácea	<i>Passiflora quercetorum</i>	2.0	1.5	-	-	148.7	-	0.030	3.0	-
12	Árbol	<i>Bursera microphylla</i>	1.7	-	2.1	-	115.9	119.2	0.035	2.0	2.1
13	Suculenta	<i>Pachycereus pringlei</i>	1.7	0.4	0.8	0.6	34.3	26.8	0.010	0.6	0.5
14	Suculenta	<i>Carnegiea gigantea</i>	1.4	0.4	0.3	0.3	39.4	55.4	0.005	0.6	0.8
15	Suculenta	<i>Cyllindropuntia fulgida</i>	1.4	1.2	1.7	1.4	63.8	33.9	0.020	0.9	0.5
16	Arbusto	<i>Fouquieria splendens</i>	1.4	-	1.2	-	62.8	152.5	0.017	0.9	2.2
17	Árbol	<i>Parkinsonia microphylla</i>	1.4	-	1.2	-	213.8	126.4	0.017	3.0	1.8
18	Árbol	<i>Bursera laxiflora</i>	1.1	1.1	-	-	126.3	-	0.012	1.4	-
19	Herbácea	<i>Cardiospermum corindum</i>	1.1	-	1.6	-	213.7	110.4	0.018	2.4	1.2
20	Árbol	<i>Olneya tesota</i>	1.1	-	1.1	-	152.9	155.0	0.013	1.7	1.7
21	Herbácea	<i>Trianthema portulacastrum</i>	1.1	3.0	-	-	160.3	-	0.034	1.8	-
22	Arbusto	<i>Abutilon incanum</i>	0.8	-	4.0	-	136.6	108.5	0.034	1.2	0.9
23	Herbácea	<i>Allionia incarnata</i>	0.8	-	0.9	-	139.3	66.5	0.008	1.2	0.6

24	Herbácea	<i>Euphorbia prostrata</i>	0.8	-	1.3	-	101.2	56.8	0.011	0.9	0.5
25	Herbácea	<i>Boerhavia coulteri</i>	0.6	-	1.0	-	190.0	-	0.005	1.1	-
26	Herbácea	<i>Dalea mollissima</i>	0.6	-	2.7	-	252.7	168.6	0.015	1.4	0.9
27	Herbácea	<i>Euphorbia eriantha</i>	0.6	-	1.6	-	253.9	83.5	0.009	1.4	0.5
28	Arbusto	<i>Jatropha cuneata</i>	0.6	-	1.9	-	190.2	107.6	0.011	1.1	0.6
29	Suculenta	<i>Stenocereus thurberi</i>	0.6	0.2	0.4	0.3	32.1	48.8	0.002	0.2	0.3
30	Arbusto	<i>Ambrosia dumosa</i>	0.3	-	1.7	-	142.9	91.7	0.005	0.4	0.3
31	Arbusto	<i>Colubrina viridis</i>	0.3	-	1.7	-	273.8	155.9	0.005	0.8	0.4
32	Arbusto	<i>Cordia parvifolia</i>	0.3	1.6	-	-	155.8	-	0.004	0.4	-
33	Herbácea	<i>Kallstroemia parviflora</i>	0.3	2.2	-	-	144.8	-	0.006	0.4	-
34	Herbácea	<i>Lycium berlandieri</i>	0.3	-	0.7	-	169.3	108.7	0.002	0.5	0.3
35	Arbusto	<i>Melochia tomentosa</i>	0.3	-	2.0	-	161.7	61.0	0.006	0.5	0.2
36	Herbácea	<i>Tidestromia lanuginosa</i>	0.3	-	0.9	-	224.1	37.9	0.002	0.6	0.1
37	Herbácea	<i>Tribulus terrestris</i>	0.3	3.3	-	-	200.6	-	0.009	0.6	-
<b>TOTAL</b>			<b>91.5</b>						<b>1.39</b>	<b>125.5</b>	<b>93.9</b>

#### *Aporte de fósforo y proteína cruda de la dieta de borrego cimarrón*

El aporte de fósforo de la dieta del borrego cimarrón en 2018 y 2019 fue de 1.39 g (Cuadro 3). El aporte de fósforo de acuerdo con la forma botánica, fue mayor en arbustos ( $\bar{X}$ =0.047 g), seguido de árboles ( $\bar{X}$ =0.079 g), herbáceas ( $\bar{X}$ =0.013 g) y suculentas ( $\bar{X}$ =0.026 g) (Cuadro 2). Las especies que tuvieron el mayor aporte de fósforo fueron *Acacia willardiana*, *Hibiscus denudatus*, *Mascagnia macroptera*, *Simmondsia chinensis* y *Ferocactus wislizenii*; por su parte, las que tuvieron el menor aporte de fósforo fueron *Tidestromia lanuginosa*, *Lycium berlandieri* y *Stenocereus thurberi*.

El aporte de proteína cruda de la dieta fue de 125 g en 2018 y de 93.9 g en 2019 (Cuadro 3). El aporte de proteína cruda de las plantas de 2018, en relación con su forma botánica, fue mayor en arbustos ( $\bar{X}$ = 4.9 g), seguido de árboles ( $\bar{X}$ = 6.3 g), herbáceas ( $\bar{X}$ = 1.3 g) y suculentas ( $\bar{X}$ = 0.9 g) (Cuadro 2). Para 2019, el mayor aporte de proteína cruda fue de arbustos ( $\bar{X}$ =4.0 g), seguido de árboles ( $\bar{X}$ =7.0 g), suculentas ( $\bar{X}$ =1.2 g) y herbáceas ( $\bar{X}$ =0.6 g). Las especies de 2018 que presentaron el mayor aporte de proteína cruda a la dieta fueron *Acacia willardiana*, *Mascagnia macroptera*, *Hibiscus denudatus* y *Simmondsia chinensis*, por otro lado, las especies que contribuyeron en menor cantidad fueron *Tidestromia lanuginosa*, *Pachycereus pringlei*, *Tribulus terrestris*, *Carnegiea gigantea*, *Lycium berlandieri*, *Melochia tomentosa*, *Cordia parvifolia*, *Kallstroemia parviflora*, *Ambrosia*

*dumosa* y *Stenocereus thurberi*. Las especies de 2019 que aportaron la mayor cantidad de proteína cruda a la dieta fueron *Acacia willardiana*, *Mascagnia macroptera*, *Simmondsia chinensis*, *Hibiscus denudatus*, mientras que las especies que aportaron la menor cantidad de proteína cruda fueron *Cyllindropuntia fulgida*, *Euphorbia prostrata*, *Euphorbia eriantha*, *Pachycereus pringlei*, *Colubrina viridis*, *Lycium berlandieri*, *Stenocereus thurberi*, *Ambrosia dumosa*, *Melochia tomentosa* y *Tidestromia lanuginosa*.

### Balance nutricional de fósforo y proteína cruda de la dieta

El balance nutricional de fósforo resultó negativo para todas las etapas fisiológicas de ovinos. El déficit diario de ingesta de fósforo para el mantenimiento de ovejas en pastizal fue de 0.30 g, el mantenimiento de carneros fue de 0.65 g, lactancia temprana fue de 2.28g, lactancia tardía fue de 0.40 g y para el crecimiento de corderos fue de 0.71 g (Cuadro 4).

Cuadro 4. Ingesta, balance nutricional y consumo de materia seca (CMS) para satisfacer los requerimientos de proteína cruda (PC) y fósforo (P) del borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*) en la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México.

Etapa	Ingesta de nutrientes (g/día)			Balance nutricional (g/día)			CMS para satisfacer requerimientos (Kg)		
	PC	PC	P	PC	PC	P	PC	PC	P
	2018	2019	2018-2019	2018	2019	2018-2019	2018	2019	2018-2019
Mantenimiento de Oveja en pastizal	118.0	88.3	1.30	48.0	18.3	-0.30	0.56	0.75	1.15
Mantenimiento de Carnero	222.2	166.3	2.45	94.2	38.3	-0.65	1.02	1.36	2.24
Lactancia temprana de Oveja en pastizal	200.9	150.3	2.22	12.9	-37.7	-2.28	1.50	2.00	3.24
Lactancia tardía de Oveja en pastizal	226.0	169.1	2.50	61.0	4.1	-0.40	1.31	1.76	2.09
Crecimiento de corderos	71.6	53.5	0.79	-4.4	-22.5	-0.71	0.61	0.81	1.08

El balance nutricional de proteína cruda en 2018 resultó positivo para el mantenimiento de ovejas en pastizal, mantenimiento de carneros, lactancia temprana de ovejas y lactancia tardía de ovejas en pastizal, presentaron una ingesta diaria superior al requerimiento por 48.0 g, 94.2 g, 12.9 g y 61.0 g, respectivamente. Sin embargo, el balance de proteína cruda de 2018 resultó negativo para el crecimiento de corderos con un déficit diario de 4.4 g de proteína cruda. El balance de proteína cruda de 2019 fue positivo para el mantenimiento de ovejas en pastizal, mantenimiento de carneros y lactancia tardía de ovejas en pastizal, la ingesta diaria de proteína cruda fue superior a los requerimientos por 18.3 g, 38.3 g y 4.1 g respectivamente.

Este balance fue negativo para lactancia temprana de ovejas en pastizal y crecimiento de corderos, con un déficit diario en la ingesta de proteína cruda de 37.7 g y 22.5 g, respectivamente (Cuadro 4).

El consumo de materia seca necesario para satisfacer el requerimiento de fósforo (CMS<sub>P</sub>) fue mayor al consumo de materia seca establecido para cada etapa fisiológica, se requiere un consumo adicional de 0.21 kg para el mantenimiento de ovejas en pastizal, 0.47 kg para el mantenimiento de carneros, 1.64 kg para lactancia temprana de ovejas en pastizal, 0.29 kg para lactancia tardía de ovejas en pastizal y 0.51 kg para el crecimiento de corderos (Cuadro 4).

El consumo de materia seca necesario para satisfacer el requerimiento de proteína cruda (CMS<sub>PC</sub>) en relación con la dieta de 2018, resultó menor al consumo de materia seca establecido en los requerimientos para las etapas fisiológicas en las que el balance fue positivo, en el caso de crecimiento de corderos se requiere un consumo adicional de 0.04 kg de materia seca por día para satisfacer el requerimiento de proteína cruda. El CMS<sub>PC</sub> con relación a la dieta de 2019 fue menor al consumo de materia seca establecido para las etapas de mantenimiento de ovejas en pastizal, mantenimiento de carneros y lactancia tardía de ovejas en pastizal, para lactancia temprana de ovejas en pastizal y crecimiento de corderos se requiere un consumo adicional de materia seca de 0.40 kg y 0.24 kg por día respectivamente para alcanzar el requerimiento de proteína cruda.

### **Nitrógeno y fósforo fecal**

El contenido de nitrógeno en 40 grupos fecales de borrego cimarrón osciló entre 1.32 y 2.31 % con promedio de 1.74 % (Cuadro 5). Por su parte, el contenido de fósforo en heces varió de 0.15 a 0.55 % con un promedio de 0.33. El coeficiente de correlación entre el nitrógeno y el fósforo fecal fue de 0.62 (Cuadro 6).

Cuadro 5. Contenido de nitrógeno fecal (NF) y fósforo fecal (PF) de borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*) durante el otoño de 2018 en la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México.

<b>Grupo fecal</b>	<b>% NF</b>	<b>% PF</b>	<b>Grupo fecal</b>	<b>% NF</b>	<b>% PF</b>
1	1.94	0.37	21	1.61	0.22
2	1.93	0.34	22	2.29	0.36
3	1.90	0.27	23	1.64	0.37

4	1.84	0.27	24	1.67	0.25
5	1.70	0.33	25	1.60	0.44
6	1.90	0.36	26	2.15	0.42
7	1.97	0.36	27	2.05	0.38
8	1.95	0.38	28	1.35	0.26
9	1.97	0.32	29	1.32	0.25
10	1.75	0.40	30	1.37	0.33
11	1.66	0.48	31	1.43	0.31
12	1.62	0.15	32	1.32	0.28
13	1.60	0.22	33	1.62	0.31
14	1.57	0.20	34	2.02	0.38
15	1.71	0.19	35	1.55	0.36
16	1.67	0.30	36	1.46	0.25
17	1.66	0.30	37	1.58	0.28
18	2.23	0.50	38	1.44	0.27
19	2.31	0.55	39	1.61	0.29
20	2.22	0.53	40	1.59	0.35

Cuadro 6. Coeficiente de correlación de Pearson entre los índices fecales de borrego cimarrón

Índices fecales	Nitrógeno fecal	Fósforo fecal
Nitrógeno fecal	1.00	1.90E-05
Fósforo fecal	0.62	1.00

## DISCUSIÓN

### Contenido y aporte de fósforo y proteína cruda en la dieta

#### *Contenido y aporte de fósforo y proteína cruda en las plantas*

El contenido promedio de fósforo fue más alto en arbustos (1.7 g), herbáceas (1.7 g) y árboles (1.5 g), mientras que las suculentas (0.8 g) mostraron el contenido promedio de fósforo más bajo. El contenido de fósforo de las plantas es variable, se encuentra en mayor cantidad en hojas y brotes nuevos, cambia con relación a las etapas fenológicas de las plantas, se relaciona directamente con las características del suelo y su contenido en los vegetales es influenciado por los patrones de lluvia y temperatura durante el año (McKinney *et al.*, 2006; Patiño *et al.*, 2012; Bleich *et al.*, 2017; Tajchman *et al.*, 2018). Algunos autores han evidenciado la importancia de los arbustos, árboles y herbáceas de acuerdo con su contenido de fósforo, por ejemplo, McKinney *et al.*, (2006) registraron en Arizona, Estados Unidos, valores importantes en arbustos y herbáceas, siendo mayor en los primeros durante los periodos secos. Por otra parte, se sabe que las suculentas contienen niveles bajos de fósforo, así como de otros nutrientes (Wolf y Martínez, 2003; Cain *et al.*, 2017). El contenido de fósforo menor encontrado en herbáceas puede estar asociado a la precipitación, se reconoce a este grupo como dependientes de la temporada de lluvias (Ramírez *et al.*, 1996). Al respecto, Grasman y Hellgren (1993) mencionan que, en el sur y suroeste de Estados Unidos, el contenido de fósforo en arbustos fue menor a 0.25 % (2.5 g/kg MS) considerado bajo; si se considera este dato como parámetro, los niveles de fósforo encontrados en las formas botánicas del presente estudio son bajos.

Con respecto al fósforo en las especies vegetales, las que presentaron el mayor contenido fueron *Abutilon incanum*, *Tribulus terrestris*, *Trianthema portulacastrum* y *Dalea mollissima*; mientras que las que tuvieron un contenido más bajo fueron *Carnegiea gigantea* y *Stenocereus thurberi*, sin embargo, existen pocos registros sobre el contenido de fósforo en estas especies evaluadas. Bleich *et al.* (2017) reporta valores de 1.1 y 1.5 g/kg MS en *Ambrosia dumosa*, valor similar al encontrado en el presente estudio (1.7 g/kg MS). Fox *et al.* (2000), en una mezcla compuesta por forrajes donde se incluyeron *Ambrosia dumosa*, *Euphorbia spp.*, *Olneya tesota* y *Jatropha cuneata*, evaluados en el presente estudio,

encontraron que el contenido de fósforo varió de 0.9 a 1.1 g de agosto a noviembre, estos valores resultaron inferiores a los encontrados las mismas plantas en el presente estudio.

El contenido de proteína cruda en las formas botánicas varió por año. En 2018, las herbáceas, arbustos y árboles tuvieron los valores más altos; mientras que, en 2019, los árboles, arbustos y herbáceas registraron contenidos más altos. En ambos años las suculentas registraron los contenidos más bajos. En general, los valores de proteína fueron ligeramente menores en 2019 para los arbustos y árboles, con una disminución significativa en las herbáceas. Esta situación puede explicarse por la dependencia de las plantas desérticas a la precipitación; al respecto se ha mencionado que la precipitación tiene una influencia sobre la productividad primaria (McKinney *et al.*, 2006; Marshal *et al.*, 2005; Cain *et al.*, 2017). El contenido alto de proteína en árboles y arbustos se asocia comúnmente a que estas plantas, a través del año, mantienen una producción de forraje más estable (Gedir *et al.*, 2016; Memmott *et al.*, 2011). Guerrero-Cárdenas *et al.* (2018) reportaron, para la Sierra El Mechudo en Baja California Sur (hábitat natural del borrego cimarrón), mayor contenido de nutrientes en árboles, arbustos y herbáceas. En el caso de las herbáceas, la variación en su contenido de proteína es mayor y está relacionada con la cantidad de precipitación; Por ejemplo, el contenido nutricional es más alto ante condiciones ambientales menos extremas y con una precipitación mayor (Wagner y Peek, 2006; Gedir *et al.*, 2016). Mientras tanto, en las suculentas, se ha encontrado que éstas presentan un contenido importante de humedad, pero su contenido proteico es bajo, alrededor del 5% (Oehler *et al.*, 2003; Gedir *et al.*, 2016; Cain *et al.*, 2017). La precipitación registrada en la UMA Rancho Noche Buena fue ligeramente más alta en 2019 a comparación del 2018 (Figura 2), sin embargo, encontramos que el contenido de proteína cruda fue menor en 2019, esta situación puede explicarse dado que el efecto que la lluvia pudo tener en la calidad nutritiva de las plantas no coincidió con el momento de la recolecta.

El contenido de proteína cruda de las especies fue mayor en 2018 ( $\bar{x}$ =150 g) que en 2019 ( $\bar{x}$ =99 g). Tales diferencias, pueden estar asociadas a las condiciones climáticas y cambios estacionales en la fenología y fisiología de las plantas (McKinney *et al.*, 2006). El contenido de proteína cruda está asociado al crecimiento del forraje, debido a los procesos anabólicos que ocurren durante la producción de tejidos vegetales y puede disminuir cuando las plantas alcanzan su madurez (Marshal *et al.*, 2005). En el presente estudio, las especies con mayor contenido de proteína cruda en ambos años fueron *Colubrina viridis*, *Dalea mollissima*,

*Mascagnia macroptera*, *Parkinsonia microphylla* y *Ebenopsis confinis*. En 2018, *Euphorbia eriantha*, *Cardiospermum corindum* y *Tribulus terrestris* presentaron mayor contenido de proteína cruda, mientras que, en 2019, lo fue *Olneya tesota*, *Acacia willardiana* y *Jatropha cinerea*. Por el contrario, en 2018 y 2019, *Cylindropuntia fulgida*, *Carnegiea gigantea*, *Pachycereus pringlei*, *Ferocactus wislizenii* y *Stenocereus thurberi* presentaron los menores contenidos de proteína cruda, estas especies se caracterizan por acumular gran cantidad de agua, pero contenido bajo de nutrientes (Oehler *et al.*, 2003). Existen pocos estudios donde se reporta la cantidad de proteína de las plantas evaluadas en el presente estudio, aunque al respecto Marshal *et al.* (2005) reportaron, para el Desierto Sonorense en California, que el contenido de proteína en *Ambrosia dumosa* fue menor (17.5 %) y para *Olneya tesota* en cantidades similares (16.8 %); En Arizona, Estados Unidos, Krausman *et al.* (1990) reportaron el contenido de proteína mayor en *Carnegiea gigantea* (13.75 %) y similar para *Parkinsonia microphylla* (12.22 %), *Ditaxis lanceolata* (10.43 %) y *Simmondsia chinensis* (10.98 %).

#### *Aporte de fósforo y proteína cruda de la dieta*

El aporte de fósforo entre 2018 y 2019 fue de 1.39 g/kg de MS, los arbustos tuvieron el mayor aporte, luego los árboles, herbáceas y suculentas. Las especies que tuvieron el mayor aporte de fósforo también fueron las más consumidas por el borrego cimarrón; estas fueron *Acacia willardiana*, *Hibiscus denudatus*, *Mascagnia macroptera*, *Simmondsia chinensis* y *Ferocactus wislizenii*. Ramírez *et al.* (1996) encontraron que el nivel de fósforo de la dieta de venado cola blanca fue extremadamente bajo durante el año, mientras que Tajchman *et al.* (2018) reportaron que la ingesta de fósforo por cérvidos se encontró por debajo del nivel óptimo (2.5-2.9 g/kg). Dada la importancia del aporte de fósforo en la dieta y su relevancia como mineral limitante en ambientes áridos (McKinney *et al.*, 2006), es importante analizar y contrastar el aporte de este elemento en la dieta a través del año.

El aporte de proteína cruda en la dieta del borrego cimarrón fue mayor en 2018 (125.5 g) que en 2019 (93.9 g). Las formas botánicas que aportaron mayor cantidad de proteína cruda a la dieta, en ambos años, fueron los arbustos y árboles; por el contrario, las herbáceas y suculentas aportaron menores cantidades. El contenido alto de proteína en árboles y arbustos puede explicar su consumo mayor por el borrego cimarrón comparado con el consumo de

otras especies vegetales, y como consecuencia, presenten el mayor aporte de proteína. Sin duda, la selección de forrajes por el borrego cimarrón se asocia con el contenido de nutrientes, (proteína y agua), y con su disponibilidad en el hábitat (Caín *et al.*, 2017). En el noroeste de México y suroeste de Estados Unidos se ha evidenciado la predilección del borrego cimarrón por plantas leñosas (árboles y arbustos) situación que se atribuye al contenido y disponibilidad de proteína a lo largo del año (Krausman *et al.*, 1990; Tarango *et al.*, 2002; Cain *et al.*, 2017; Guerrero-Cárdenas *et al.*, 2018). En este estudio, el aporte de proteína por las herbáceas y suculentas fue bajo debido, probablemente, a su contenido bajo de proteína y en consecuencia al bajo consumo por parte del borrego cimarrón; además, la cantidad de nutrientes en herbáceas está relacionado con la precipitación y, el consumo de suculentas se relaciona con la temperatura alta. Si bien en este estudio estos grupos de plantas, de acuerdo con su contribución de proteína no fueron importantes, otros autores mencionan que son nutricionalmente relevantes para adultos y corderos de borrego cimarrón durante todo el año (Bleich *et al.*, 1997; McKinney *et al.*, 2006).

En este estudio, se identificó que las especies más consumidas presentaron el mayor aporte de proteína cruda, sin embargo, éstas especies no necesariamente presentaron el mayor contenido de proteína. Las especies cuyo aporte de proteína cruda resultó más relevante fueron *Acacia willardiana* (23.2 g), *Mascagnia macroptera* (21.3 g), *Hibiscus denudatus* (15.6 g) y *Simmondsia chinensis* (10.7g). Es importante resaltar que, aunque *Ferocactus wislizenii* tuvo un nivel bajo de proteína cruda, su alto consumo le permitió aportar una cantidad importante de proteína a la dieta. Al respecto, Warrick y Krausman (1989) demostraron que esta planta es importante para mantener el balance hídrico del borrego cimarrón bajo condiciones áridas, lo que puede explicar su consumo alto. Si bien, no existen estudios específicos sobre la cantidad y aporte de proteína de las plantas evaluadas, se reconoce a *Simmondsia chinensis* como un componente importante en la dieta del borrego cimarrón (Miller y Gaud, 1989).

### **Balance nutricional de fósforo y proteína cruda**

#### *Balance nutricional de fósforo*

El balance nutricional de fósforo fue negativo en todas las etapas fisiológicas: el déficit más alto fue para la lactancia temprana de ovejas en pastizal, seguida del crecimiento de corderos,

mantenimiento de carneros, lactancia tardía y mantenimiento de ovejas en pastizal. Estas deficiencias pueden deberse a causas diversas, por ejemplo, algunos autores aseveran que los animales en vida libre o bajo sistemas de pastoreo extensivos pueden presentar deficiencias por consumir plantas con un contenido bajo de fósforo (NRC, 2007); asimismo, el exceso de otros minerales en el cuerpo, como hierro, aluminio y magnesio, puede inducir su deficiencia (Barboza *et al.*, 2009), minerales que no se evaluaron en el presente estudio. El fósforo es vital en el metabolismo animal, su limitación o carencia causa problemas de salud como disminución del apetito e ingesta de alimento, desmineralización de los huesos, debilitamiento y en casos muy graves, puede inducir la muerte del individuo (Robbins, 1983; NRC, 2007); Por ello, al fósforo se le considera como un elemento que limita el crecimiento y la reproducción de los ungulados (Grasman y Hellgren, 1993).

Los corderos, como ocurrió en el presente estudio, al no satisfacer sus necesidades de fósforo, pueden presentar una reducción de la ingesta de alimento, disminución de la ganancia de peso, reducción en la tasa de crecimiento, presentar desmineralización de los huesos, deformación ósea de las extremidades y tener implicaciones en la formación y desarrollo de la cornamenta (Robbins, 1983; McKinney *et al.*, 2006; NRC, 2007). En condiciones de desnutrición graves, los corderos se debilitan al grado tal que su vida se pone en riesgo (Robbins, 1983; NRC, 2007). No obstante, consideramos que el déficit de fósforo en corderos podría ser menor al que estimamos en este estudio, debido a que la leche que ingieren contiene niveles de fósforo altos y es de absorción fácil (Barboza *et al.*, 2009; McKinney *et al.*, 2006).

Para el caso de las hembras de borrego cimarrón, presentaron un balance de fósforo negativo para mantenimiento, lactancia temprana y lactancia tardía (Cuadro 4). Este balance negativo, podría ocasionar afectaciones en su salud, especialmente durante la lactancia temprana y tardía, etapas que demandan una mayor cantidad de fósforo y otros nutrientes (Barboza *et al.*, 2009). Las hembras, ante condiciones de deficiencias bajas de fósforo, movilizan el fósforo de los huesos para compensar las demandas en otras partes del cuerpo, provocando la desmineralización ósea (Slabach *et al.*, 2015). Algunos autores señalan que la deficiencia de fósforo también podría inducir el retraso o suspensión del estro, disminución de la tasa de concepción, reducción de la producción de leche y en situaciones de desnutrición grave la

actividad reproductiva podría detenerse por completo (Robbins, 1983; McKinney et al., 2006).

#### *Balance nutricional de proteína cruda*

En este estudio se encontró que el balance de proteína cruda fue positivo para el mantenimiento de carneros y de ovejas en pastizal. El balance de proteína es un equilibrio entre su síntesis y su degradación, en este caso, el balance para mantenimiento es el equilibrio entre la ingesta de proteína cruda y las pérdidas en heces y orina (Robbins, 1983; Barboza *et al.*, 2009). En situaciones en que el balance resulta positivo, como fue el caso, la proteína puede acumularse como reservas a corto plazo o puede canalizarse para generar tejido muscular (Barboza *et al.*, 2009; Perry *et al.*, 2009). Por esta razón, se considera que las hembras y los carneros pudieron mantener sus funciones de mantenimiento sin problema, además, el excedente de proteína pudo canalizarse para generar tejido o para satisfacer otras demandas.

El balance nutricional de proteína cruda para lactancia temprana de ovejas en pastizal fue positivo en 2018. Durante esta etapa la demanda de proteína es alta, debido en parte, a que la producción de leche alcanza los niveles más altos (Martín y Festa-Bianchet, 2010). Se estima que las hembras cumplieron con su demanda de proteína durante esta etapa y, por consiguiente, la producción de leche no tuvo mayores complicaciones. Sin embargo, en 2019 el balance de proteína resultó negativo para lactancia temprana, en estas condiciones, las hembras se ven obligadas a movilizar la proteína corporal para mantener la síntesis de proteínas en tejidos críticos (Barboza *et al.*, 2009). Esto ocasiona que las hembras, pierdan peso, reduzcan su fertilidad, disminuyan la producción de leche, y que su sistema inmunológico se debilite e incremente la susceptibilidad de contraer enfermedades infecciosas (Barboza *et al.*, 2009; Rad *et al.*, 2015). En este sentido, en términos de sobrevivencia, se ha observado que las hembras de borrego cimarrón son capaces de favorecer su propia condición sobre la de sus crías, como resultado, crían corderos pequeños y con bajas posibilidades de sobrevivir (Festa-Bianchet, 1988; Parker *et al.*, 2009; Martín y Festa-Bianchet, 2010). Por otra parte, se encontró que el balance de proteína cruda fue positivo para la lactancia tardía en 2018 y 2019; por ello, se considera que las hembras

lograron satisfacer sus demandas de proteína y que, la proteína excedente pudo haberse acumulado como reserva o se canalizada para la ganancia de tejido muscular.

El balance de proteína en corderos resultó negativo en ambos años, el mayor déficit de proteína se encontró en 2019. En esta etapa, los corderos demandan contenidos altos de proteína y nutrientes para la formación acelerada de tejidos que les permitan tener un crecimiento corporal adecuado en un tiempo corto (Parker *et al.*, 2009; Pelegrin-Valls *et al.*, 2020). En situaciones en donde el balance de proteína resulta negativo, los corderos pueden perder peso y reducir la tasa de crecimiento, además de arriesgar su salud y sobrevivencia (Robbins, 1983; Festa-Bianchet *et al.*, 1997). A pesar de ello, la ingesta de leche es una fuente importante de proteínas para los corderos, por consiguiente, el balance de proteína podría ser mayor al que se determinó en relación con la dieta (Martin y Festa-Bianchet, 2010).

Es importante señalar que los resultados de este estudio y su interpretación deben ser tomados en cuenta con cautela ya que se utilizó la información de los requerimientos nutricionales determinados para borregos domésticos y que el borrego cimarrón presenta menor susceptibilidad a las deficiencias de nutrientes debido a que se ha adaptado a vivir en ambientes desérticos, en donde la disponibilidad de alimento y nutrientes depende de la cantidad de precipitación (McKinney *et al.*, 2006; Poppenga *et al.*, 2012).

### **Nitrógeno y fósforo fecal**

El contenido de nitrógeno en heces de borrego cimarrón varió entre 1.32 y 2.31% con un promedio de 1.74% y el fósforo fecal entre 0.15 y 0.55 % con un promedio de 0.33%; ambos índices tuvieron una correlación de 0.62. El nitrógeno y fósforo fecal han sido utilizados como indicadores de la calidad nutritiva de la dieta de ungulados (Bleich *et al.*, 1997; McKinney *et al.*, 2006) y muestran correlación importante (Osborn y Jenks, 1998). Orellana *et al.* (2020) registraron correlación positiva entre el nitrógeno y fósforo fecal (0.916) en borregos domésticos, McKinney *et al.* (2006) también registraron correlación positiva en borrego cimarrón, sin embargo, nuestros resultados mostraron correlación baja entre estos índices.

Si bien el contenido de nitrógeno fecal de la población de borrego cimarrón estudiada puede ser adecuado, debido a que se encuentra por encima del nivel considerado como deficiencia nutricional (>1.3% en borrego cimarrón, Irwin *et al.*, 1993; McKinney *et al.*, 2006), su

análisis resulta complicado dado que la interpretación y utilidad del contenido de nitrógeno fecal se encuentra sujeto a ciertas consideraciones.

El uso del nitrógeno fecal como índice para la determinación de la calidad nutritiva de la dieta de poblaciones de ungulados ha sido sujeta a cuestionamientos constantes dada la influencia ejercida por metabolitos secundarios vegetales como los taninos (Hobbs, 1987; Robbins *et al.*, 1987). A pesar de esto, este índice es uno de los más utilizados debido a su practicidad al ser una técnica de estudio no invasiva (Leslie *et al.*, 2008) y se puede utilizar en estudios cuando se hace de forma prudente y se reconocen sus limitaciones (Osborn y Ginnet, 2001; Carpio *et al.*, 2015). Se cree que este índice es útil cuando se consideran los preceptos siguientes: 1) debe ser expresado como proporción de la materia orgánica para minimizar la influencia de la contaminación por partículas de suelo u otros agentes contaminantes (Ramanzin *et al.*, 2017), 2) se debe conocer la composición botánica de la dieta y el tipo y cantidad de taninos (Hodgman *et al.*, 1996; Verheyden *et al.*, 2011), 3) el nitrógeno fecal debe ser utilizado cuando se comparen unidades de estudio, pero no deben hacerse predicciones y, 4) su estudio debe ser a largo plazo (Massey *et al.*, 1994; Blanchard *et al.*, 2003). Si bien en el presente estudio se consideraron su expresión en relación con la materia orgánica y el conocimiento de la dieta, los resultados de nitrógeno fecal obtenidos no pueden ser utilizados para brindar un diagnóstico del estado nutricional de la población de borrego cimarrón presente en la UMA Rancho Noche Buena. Dada tal circunstancia, se sugiere su utilización únicamente como un punto de partida para estudios nutricionales futuros.

Asimismo, el fósforo fecal es considerado uno de los índices más adecuados para determinar la calidad de la dieta ya que no es susceptible a ser modificado por los compuestos fenólicos y taninos (Mubanga *et al.*, 1985) y se relaciona directamente con el consumo de fósforo (Louvandini y Vitti, 1996). Sin embargo, se debe considerar que dicha relación es relativa, ya que aproximadamente el 85% del fósforo encontrado en las heces es de origen endógeno, proveniente de la saliva, células intestinales y secreciones digestivas, mientras que el 15% corresponde al fósforo consumido en la dieta (Bravo *et al.*, 2003). En otros estudios se han reportado contenidos de fósforo fecal de borrego cimarrón entre 0.22 y 0.43 %, resultados similares a lo encontrado en el presente estudio (McKinney *et al.*, 2006). Se ha establecido una correlación directa entre el contenido de fósforo y el consumo de herbáceas por el

borrego cimarrón durante la temporada de lluvias, sugiriendo que es probable que en la época seca se presenten deficiencias de fósforo en la dieta (McKinney *et al.*, 2006). Asimismo, Orellana *et al.* (2020) encontraron que la ingesta y contenido de fósforo fecal disminuye cuando el forraje comienza a secarse; por ello, se presume que durante los periodos de sequía los niveles de fósforo, fecal y dietario disminuyen. Tomando en cuenta estas consideraciones, se recomienda hacer un análisis de fósforo a una escala espacio-temporal mayor que permita determinar la calidad de la dieta y el consumo de fósforo por el borrego cimarrón de la UMA Rancho Noche Buena, municipio de Hermosillo, Sonora, México.

## **CONCLUSIONES**

El balance nutricional realizado para el borrego cimarrón para el otoño de 2018 y de 2019 permitió conocer, de manera general, el estado nutricional del borrego cimarrón. Se encontraron deficiencias de fósforo durante todas las etapas fisiológicas, especialmente para la lactancia temprana. Por otra parte, con base al balance de proteína cruda se demostró que existen deficiencias durante la lactancia temprana y para el crecimiento de corderos.

El contenido de fósforo fecal fue similar a lo reportando en otras investigaciones realizadas con borrego cimarrón; asimismo, los contenidos de nitrógeno fecal resultaron superiores a los estimados como deficiencias. Sin embargo, esta información puede sólo ser usada como referencia para futuras investigaciones.

## LITERATURA CITADA

- Alcalá, G. C. H., Maytorena, G. J. E., Barraza, G. R. H., y Rueda-Puente, E. O. (2016). Caracterización ecológica cuantitativa de la vegetación en sitios de la costa central del golfo en el Desierto Sonorense. *European Scientific Journal*, 12(35), 266-283. doi: 10.19044/esj.2016.v12n35p266
- AOAC, (1965). Official Methods of Analysis (10th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- AOAC, (1990). Official Methods of Analysis (15a ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- Barboza P. S., Parker K. L. y Hume I. A. (2009). Integrative wildlife nutrition. Springer. Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Blanchard, P., Festa-Bianchet, M., Gaillard, J. M. y Jorgenson, J. T. (2003). A test of long-term fecal nitrogen monitoring to evaluate nutritional status in bighorn sheep. *The journal of wildlife management*, 67(3), 477-484. doi: 10.2307/3802705
- Bleich V. C., Bowyer T. R., y Wehausen J. D. (1997). Sexual segregation in mountain sheep: resources or predation? *Wildlife Monographs*, 134, 3-50. <https://www.jstor.org/stable/3830743>
- Bleich, V. C., Oehler, M. W. y Bowyer, R. T. (2017). Mineral content of forage plants of mountain sheep, Mojave Desert, USA. *California Fish and Game*, 103(2), 55-65.
- Bravo, D., Sauvant, D., Bogaert, C. y Meschy, F. (2003). A bibliographic database for quantitative analysis of phosphorus flow in ruminants. *Reproduction, nutrition, development*, 43, 251-269. doi: 10.1051/rnd:2003019
- Brewer, C. E. y Harveson, L. A. (2007). Diets of bighorn sheep in the Chihuahuan Desert, Texas. *The Southwestern Naturalist*, 52(1), 97-103. doi: 10.1894/0038-4909(2007)52[97:DOBSIT]2.0.CO;2
- Cain, J. W. III, Krausman, P. R., Rosenstock, S. S. y Turner, J. C. (2006). Mechanisms of thermoregulation and water balance in desert ungulates. *Wildlife Society Bulletin*, 34(3), 570-581. <https://www.jstor.org/stable/3784682>

- Cain, J. W. III, Gedir J. V., Marshal J. P., Krausman P. R., Allen J. D., Duff G. C., Jansen B. D. y Morgart J. R. (2017). Extreme precipitation variability, forage quality and large herbivore diet selection in arid environments. *Oikos*, 126, 1459-1471. doi: 10.1111/oik.04282
- Carpio, A. J., Guerrero-Casado, J., Ruiz-Aizpurua, L., Tortosa, F. S. y Vicente, J. (2015). Interpreting faecal nitrogen as a non-invasive indicator of diet quality and body condition in contexts of high ungulate density. *European journal of wildlife research*, 61(4), 557-562. doi: 10.1007/s10344-015-0927-3
- Cunha, T. J. (1983). Animal feeding and nutrition. A series of monographs and treatises. Academic Press, Inc. San Diego, California.
- Espinosa-T. A., Sandoval A. V., y Contreras-B. A. J. (2006). Historical distribution of desert bighorn sheep (*Ovis Canadensis Mexicana*) in Coahuila, México. *The Southwestern Naturalist*, 51(2), 282-288. doi: 10.1894/0038-4909(2006)51[282:HDODBS]2.0.CO;2
- Festa-Bianchet, M. (1988). Nursing behaviour of bighorn sheep: correlates of ewe age, parasitism, lamb age, birthdate and sex. *Animal behavior*, 36(5), 1445-1454. doi: /10.1016/S0003-3472(88)80215-X
- Festa-Bianchet, M., Jorgenson, J. T., Bérubé, C. H., Portier, C. y Wishart, W. D. (1997). Body mass and survival of bighorn sheep. *Canadian Journal of Zoology*, 75(9), 1372-1379. doi: 10.1139/z97-763
- Fox, L. M., Krausman, P. R. y Morrison, M. L. (2000). Mineral content of Sonoran pronghorn forage. *California fish and game*, 86(3), 159-174.
- García E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen (5a ed.). México. Instituto de Geografía-UNAM.
- Gedir, J. V., Cain, J. W., Krausman, P. R., Allen, J. D., Duff, G. C. y Morgart, J. R. (2016). Potential foraging decisions by a desert ungulate to balance water and nutrient intake

- in a water-stressed environment. *PLOS ONE*, 11(2), 1-20. doi: 10.1371/journal.pone.0148795
- González, S. F., Tarango, A. L. A., Cantú, A. C., Uvalle, S. J., Marmolejo, M. J. y Ríos, S. C. A. 11 (2011). Estudio poblacional y de distribución del borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*, Merriam, 1901) en Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(4),61-73. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63438958006>
- Grasman, B. T. y Hellgren, E. C. (1993). Phosphorus nutrition in white-tailed deer: Nutrient balance, physiological responses, and antler growth. *Ecology*, 74(8), 2279-2296. doi: 10.2307/1939581
- Guerrero-Cárdenas, I., Álvarez-Cárdenas, S., Gallina, S., Corcuera, P., Ramírez-Orduña, R. y Tovar-Zamora, I. (2018). Variación estacional del contenido nutricional de la dieta del borrego cimarrón del desierto (*Ovis canadensis weemsi*), en Baja California Sur, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 34(1), 1-18. doi: 10.21829/azm.2018.3412113
- Hobbs, N T. (1987). Fecal indices to dietary quality: a critique. *Journal of wildlife management*, 51(2), 317-320. doi: 10.2307/3801008
- Hodgman, T. P., Davitt, B. B. y Nelson, J. R. (1996). Monitoring mule deer diet quality and intake with fecal indices. *Journal of range management*, 49(3), 215-222.
- Irwin, L. L., Cook, J. G., McWhirter, D. E., Smith, S. G. y Arnett, E. B. (1993). Assessing winter dietary quality in bighorn sheep via fecal nitrogen. *The Journal of Wildlife Management*, 57(2), 413-421. doi: 10.2307/3809442
- Krausman, P. R., Ordway, L. L., Whiting, F. M. y Brown, W. H. (1990). Nutritional composition of desert mule deer forage in the Picacho Mountains, Arizona. *Desert plants*, 10(1), 32-34.
- León, L. L. J., Rebman, J. P., Van Devender, T. R., Sánchez-Escalante, J. J., Delgadillo-Rodríguez, J. y Medel-Narváez A. (2018). El conocimiento florístico actual del Noroeste de México: Desarrollo, recuento y análisis del endemismo. *Botanical Sciences*, 96(3), 555-568. doi: 10.17129/botsci.1885

- Leslie D. M, Bowyer T. y Jenks J. A. 2008. Facts from feces: nitrogen still measures up as a nutritional index for mammalian herbivores. *The Journal of Wildlife Management*, 72(6), 1420-1433. doi: 10.2193/2007-404
- Louvandini, H. y Vitti, D. M. S. S. (1996). Phosphorus metabolism and estimation of phosphorus requirements for sheep. *Scientia Agricola*, 53(1), 184-189. doi: 10.1590/S0103-90161996000100027
- Marshal, J. P., Krausman, P. R. y Bleich, V. C. (2005). Rainfall, temperature, and forage dynamics affect nutritional quality of desert mule deer forage. *Rangeland Ecology and Management*, 58(4), 360-365. doi: 10.2111/1551-5028(2005)058[0360:RTAFDA]2.0.CO;2
- Martin, J. G. A. y Festa-Bianchet, M. (2010). Bighorn ewes transfer the costs of reproduction to their lambs. *American naturalist*, 176(4), 414-423. doi: 10.1086/656267
- Massey, B. N., Weckerly, F. W., Vaughn, C. E. y McCullough, D. R. (1994). Correlations between fecal nitrogen and diet composition in free-ranging black-tailed deer. *The southwestern naturalist*, 39(2), 165-170. doi: 10.2307/3672242
- McKinney, T., Smith, T. W. y DeVos, J. C. (2006). Evaluation of factors potentially influencing a desert bighorn sheep population. *Wildlife monographs*, 164(1), 1-36 . doi: 10.2193/0084-0173(2006)164[1:EOFPIA]2.0.CO;2
- Medellín, R. A., Manterola, C., Valdez, M., Hewitt, S.G., Doan-Crider, D. y Fulbright, T. E. 2005. History, ecology, and conservation of the pronghorn antelope, bighorn sheep, and black bear in Mexico. In *Biodiversity, ecosystems, and conservation in northern Mexico*. (J. L. Cartron, G. Ceballos, and R. S. Felger, eds.). Oxford University Press, Oxford, New York, p. 387–404.
- Memmott, K. L., Anderson, V. J. y Fugal, R. (2011). Seasonal dynamics of forage shrub nutrients. *Society for range management*, 33(6), 12-16. doi: 10.2111/1551-501X-33.6.12
- Miller, G. D., y Gaud, W. S. (1989) Composition and variability of desert bighorn sheep diets. *Journal of Wildlife Management*, 53(3), 597-606. doi: 10.2307/3809182

- Moen, A. N. y Scholtz, S. (1981). Nomographic estimation of forage intake by white-tailed deer. *Journal of range management*, 34(1), 74-76. doi: 10.2307/3898460
- Mubanga, G., Holechek, J. L., Valdez R. y Schemnitz, S. D. (1985). Relationships between diet and fecal nutritive quality in mule deer. *The southwestern naturalist*, 30(4), 573-578. doi: 10.2307/3671052
- NASA-EARTHDATA, Geospatial Interactive online visualization and analysis infrastructure (GIOVANNI) V 4.34. (2020). Consultado 07-04-2021 en: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
- National Research Council (NRC). (2007). Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and New World camelids. Washington, D.C.: The National Academies Press. doi: 10.17226/11654.
- Oehler, M. W., Bowyer, R. T. y Bleich, V. C. (2003). Home ranges of female mountain sheep, *Ovis Canadensis nelsoni*: effects of precipitation in a desert ecosystem. *Mammalia*, 67(3), 385-401. doi: 10.1515/mamm.2003.67.3.385
- Orellana C., Parraguez V. H., Arana W., Escanilla J., Zavaleta C. y Castellaro G. 2020. Use of fecal indices as non-invasive tool for nutritional evaluation in extensive-grazing sheep. *Animals*, 10(1), 46. doi: 10.3390/ani10010046.
- Osborn, R. G. y Jenks, J. A. (1998). Assessing dietary quality of white-tailed deer using fecal indices: Effects of supplemental feeding and area. *Journal of mammalogy*, 79(2), 437-447. doi: 10.2307/1382974
- Osborn, R. G. y Ginnett, T. F. (2001). Fecal nitrogen and 2,6-Diaminopimelic acid as indices to dietary nitrogen in white-tailed deer. *Wildlife society bulletin*, 29(4), 1131-1139. <https://www.jstor.org/stable/3784136>
- Parker, K. L., Barboza, P. S. y Gillingham, M. P. (2009). Nutrition integrates environmental responses of ungulates. *Functional ecology*, 23(1), 57-69. doi: 10.1111/j.1365-2435.2008.01528.x

- Patiño, P. R., Barragan, H. W., Vergara, O. y Maza, L. (2012). Últimos avances sobre los mecanismos reguladores de la absorción de fósforo. *Revista colombiana ciencia animal*, 4(2), 473-397. doi: 10.24188/recia.v4.n2.2012.230
- Pelegri-Valls, J., Serrano-Perez, B., Villalva, D., Martin-Alonso, M. J., Bertolin, J. R., Joy, M. y Alvarez-Rodriguez, J. (2020). Effect of Dietary Crude Protein on Productive Efficiency, Nutrient Digestibility, Blood Metabolites and Gastrointestinal Immune Markers in Light Lambs. *Animals*, 10(2), 328. doi: 10.3390/ani10020328
- Pelz-Serrano K., Ponce-Guevara E., Sierra-Corona R., List R., y Ceballos G. 2006. Recent records of desert bighorn sheep (*Ovis canadensis mexicana*) in eastern Sonora and Northwestern Chihuahua, México. *The Southwestern Naturalist*, 51(3). <https://www.jstor.org/stable/20424746>
- Peralta, P. R. (2020). Traslape de dieta en ungulados silvestres y domésticos en Sonora, México. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México.
- Perry, S. B., Parker, K. L. y Hume, I. D. (2009). Integrative wildlife nutrition. Berlin, Germany. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN: 978-3-540-87884-1. DOI: 10.1007/978-3-540-87885-8
- Poppenga, R. H., Ramsey, J., Gonzales, B. J. y Johnson C. K. (2012). Reference intervals for mineral concentrations in whole blood and serum of bighorn sheep (*Ovis canadensis*) in California. *Journal of veterinary diagnostic investigation*, 24(3), 531-538. doi: 10.1177/1040638712441936
- Rad, E. B., Mesdaghi, M., Ahmad, N. y Abdullah, M. (2015). Nutritional quality and quantity of available forages relative to demand: a case study of the goitered gazelles of the Golestan National Park, Iran. *Rangelands* 37(2), 68-80. doi: 10.1016/j.rala.2015.01.004
- Ramanzin, M., Párraga, A. M. A., Ferragina, A., Sturaro, E., Semenzato, P., Serrano, E., Clauss, M., Albanell, E., Cassini, R. y Bittante, G. (2017). Methodological considerations for the use of faecal nitrogen to assess diet quality in ungulates: The

- alpine ibex as a case study. *Ecological indicators*, 82(1), 399-408. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.06.050
- Ramírez, R. G., Haenlein, F. G. W., Treviño, A. y Reyna, J. (1996). Nutrient and mineral profile of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus, texanus*) diets in northeastern Mexico. *Small ruminant research*, 23(1), 7-16. doi: 10.1016/S0921-4488(96)00895-4
- Robbins, C. T. (1983). Wildlife feeding and nutrition. New York, The United States of America. Academic Press.
- Robbins, C. T., Mole, S., Hagerman, A. E. y Hanley, T. A. (1987). Role of tannins in defending plants against ruminants: reduction in dry matter digestion? *Ecology*, 68(6), 1606-1615. doi: 10.2307/1939852
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura (SAGARHPA). (2020). Consultado 13-09-2020 en <http://hunting.sonora.gob.mx/infoumamun.php?id=DFYFS-CR-EX0162-SON>
- Sandoval, A. V., Valdez, R. y Espinoza, T. A. (2014). El borrego cimarrón en México. In R. Valdez & J. A. Ortega-S (Eds.), *Ecología y manejo de fauna silvestre en México* (1a. ed., pp. 475—505). México: Biblioteca Básica de Agricultura.
- Schwarm A., Schweigert M., Ortmann, S., Hummel, J., Janssens, G. P. J., Streich W. J. y Clauss, M. 2008. No easy solution for the fractionation of faecal nitrogen in captive wild herbivores: result of a pilot study. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 93(5), pp. 596-605. doi: 10.1111/j.1439-0396.2008.00842.x
- Secretaría de Economía (SE). (2001). Norma Mexicana NMX-AA-029-SCFI-2001 Análisis de aguas-Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Publicada el 17 de abril del 2001 en el Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2019). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su

- inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial (SEPAFIN). (1980). Norma Oficial Mexicana NOM-F-68-S-1980 Alimentos-Determinación de proteínas. Publicada el 04 de agosto de 1980 en el Diario Oficial de la Federación.
- SEINet. 2020. Consultado 20-01-2020 en <http://swbiodiversity.org/seinet/>
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2010). Consultado 25-09-2020 en: <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales5110/NORMAL26028.TXT>
- Shreve F. (1951). *Vegetation of the Sonoran Desert*. Washington DC. Carnegie Institution for Science.
- Slabach, B. L., Corey, T. B., Aprille, J. R., Starks, P. T. y Dane, B. (2015). Geophagic behavior in the mountain goat (*Oreamnos americanus*): support for meeting metabolic demands. *Canadian journal of zoology*, 93(8), 599-604. doi: 10.1139/cjz-2015-0067
- Tajchman, K., Steiner-Bogdaszewska, Z. y Zolkiewski, P. (2018). Requirements and role of selected micro and macro elements in nutrition of cervids (cervidae) – review. *Applied ecology and environmental research*, 16(6), 7669-7686. doi: 10.15666/aeer/1606\_76697686
- Tarango, A. L. A., Krausman, P. R., Valdez, R. y Katting, R. M. (2002). Research observation: Desert bighorn sheep diets in north-western Sonora, México. *Journal of range management*, 55(6), 530-534. doi: 10.2458/azu\_jrm\_v55i6\_tarango
- Valdez, R. Guzmán-Aranda, J. G., Abarca, F. J., Tarango-Arámbula, L. A., y Clemente-Sánchez, F. (2006). Wildlife conservation and management in Mexico. *Wildlife society bulletin*, 34(2): 270-282. doi: 10.2193/0091-7648(2006)34[270:WCAMIM]2.0.CO;2

- Verheyden, H., Aubry, L., Merlet, J., Petibon, P. y Chauveau-Duriot. (2011). Faecal nitrogen, an index of diet quality in roe deer *Capreolus capreolus*? *Wildlife biology*, 17(2), 166-175. doi: 10.2981/10-111
- Wagner, G. D. y Peek, J. M. (2006). Bighorn sheep diet selection and forage quality in Central Idaho. *Northwest science*, 80(4), 246-258, 39.
- Warrick, G. D. y Krausman, P. R. (1989). Barrel cacti consumption by desert bighorn sheep. *The southwestern naturalist*, 34(4), 483-486. doi: 10.2307/3671506
- Wehausen, J. D. (1995). Fecal measures of diet quality in wild and domestic ruminants. *The Journal of Wildlife Management*, 59(4), 816-823. doi: 10.2307/3801962
- Wolf, B. O. y Martínez, R. C. (2003). How important are columnar cacti as sources of water and nutrients for desert consumers? a review. *Isotopes in environmental and health studies*, 39(1), 53-67. doi: 10.1080/1025601031000102198