



## Requirements and nutritional balance of phosphorus and crude protein in plants preferred by bighorn sheep (*Ovis canadensis mexicana*)

### Requerimientos y balance nutricional de fósforo y proteína cruda en plantas preferidas por el borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*)

M. Susana Bautista-De-Luna<sup>1</sup>; Luis A. Tarango-Arámbula<sup>1</sup>; Germán Mendoza-Martínez<sup>2</sup>; Genaro Olmos Oropeza<sup>1\*</sup>; Juan F. Martínez-Montoya<sup>1</sup>; Saúl Ugalde-Lezama<sup>3</sup>; Cesáreo Lánderos-Sánchez<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Postgrado de innovación en Manejo de Recursos Naturales. Iturbide 73, Colonia Centro, Salinas de Hidalgo, S.L.P. C.P. 78620.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Calzada del Hueso núm. 1100, Villa Quietud, Coyoacán, México. C. P. 04960.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, km 38.5, Carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco Edo. de México, C. P. 56230.

<sup>4</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, km 88.5 Carretera Federal Xalapa-Veracruz, vía Paso de Ovejas entre Puente Julia y Paso San Juan, Tepetates, Manlio F. Altamirano, Veracruz, Méx.

\*Corresponding author: [olmosg@colpos.mx](mailto:olmosg@colpos.mx) Teléfono 496 1042728. ORCID ID. 0000-0003-3917-8415

#### Abstract

The objective was to analyze the content and nutritional value of phosphorus and crude protein diet of the bighorn sheep during the fall at the 'Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre' (UMA) Rancho Noche Buena, Sonora, Mexico. During the fall of 2018 and 2019, 37 species of plants that make up the diet of the bighorn sheep were collected. We estimated the contents of phosphorus and crude protein in plants. In addition, the nutritional balance for phosphorus and crude protein for the bighorn sheep were estimated considering as references the consumption and requirements of phosphorus and crude protein of domestic sheep. Trees and shrubs had the highest content of phosphorus and crude protein. The contribution of phosphorus was 1.39 g·kg<sup>-1</sup>, while that of protein was 125 g·kg<sup>-1</sup> in 2018, and 93.9 g·kg<sup>-1</sup> in 2019. Species with the highest phosphorus and protein content in the diet were *Acacia willardiana*, *Mascagnia macroptera*, *Hibiscus denudatus* and *Simmondsia chinensis*. The phosphorus balance was negative for all physiological stages in sheep, while the protein balance was negative for growing lambs in both years and for lambs in early lactation in 2019. The nutritional balance showed deficiencies of phosphorus and crude protein in the diet of the bighorn sheep during the fall season in Sonora, Mexico.

**Keywords:** Sonora, food analysis, nutrition, fecal indicators, wildlife

#### Resumen

El objetivo fue analizar el contenido y valor nutricional del fósforo y proteína cruda de la dieta del borrego cimarrón en la Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA), Rancho Noche Buena, Sonora, México, durante la estación de otoño. Durante el otoño de 2018 y 2019 se recolectaron 37 especies de plantas que conforman la dieta del borrego cimarrón. Los contenidos de fósforo y proteína en plantas se determinaron. Los balances nutricionales de fósforo y proteína cruda se estimaron para el borrego cimarrón considerando como referencias el consumo y los requerimientos de fósforo y proteína cruda de borregos domésticos. Los árboles y arbustos presentaron los contenidos mayores de fósforo y proteína cruda. El aporte de fósforo fue 1.39 g·kg<sup>-1</sup>, mientras que el de proteína en 2018 fue de 125 g·kg<sup>-1</sup> y en 2019 fue de 93.9 g·kg<sup>-1</sup>. Las especies que aportaron más fósforo y proteína a la dieta fueron *Acacia willardiana*, *Mascagnia macroptera*, *Hibiscus denudatus* y *Simmondsia chinensis*. El balance de fósforo fue negativo para todas las etapas fisiológicas en ovinos, mientras que el balance de proteína fue negativo para corderos en crecimiento en ambos años y para corderos en lactancia temprana en 2019. El balance nutricional mostró deficiencias de fósforo y proteína cruda en la dieta del borrego cimarrón durante el otoño en Sonora, México.

**Palabras clave:** Sonora, análisis bromatológico, nutrición, indicadores fecales, fauna silvestre.



## Introduction

The bighorn sheep (*Ovis canadensis mexicana*) is considered a priority species for conservation and is granted special protection under Mexican law (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2019). Currently, bighorn sheep are naturally distributed in the northwestern part of Sonora (Sandoval, et al., 2014). There, its hunting exploitation is considered an important conservation tool. This species' survival strategies have allowed it to adapt to desert environments (Sandoval et al., 2014). These include the selection of foods that provide the highest nutritional quality even in periods of drought and prolonged hot temperatures (Bleich, et al., 1997). Their diet is composed of shrub, herbaceous and succulent species; bighorn sheep select them according to their availability and nutritional value (Tarango, et al., 2002; Guerrero-Cárdenas et al., 2018).

The supply of nutrients from food is linked to physiological processes that are reflected in the population dynamics of ungulates (McKinney, et al., 2006). Protein and phosphorus are essential nutrients for the survival of organisms living under extreme environmental conditions (McKinney et al., 2006). Protein intake has an important relationship with bighorn sheep survival in arid environments (Gedir et al., 2016; Cain et al., 2017). Phosphorus is a fundamental element of the animal skeletal system, it affects the correct functioning of the rumen, and its deficiency is reflected in reduced nutrient absorption (Orellana et al., 2020). Phosphorus in feed is considered limiting for ungulate populations in arid ecosystems of the southern United States (McKinney et al., 2006).

In Mexico, studies on bighorn sheep have focused on diet composition (Tarango et al., 2002; Guerrero-Cárdenas et al., 2016; O'Farrill, et al., 2019; Peralta, 2020; Gastelum-Mendoza et al., 2021), habitat use (Tarango et al., 2002a; O'Farrill et al., 2019), use of natural waterholes (Escobar- Flores et al., 2016) and only one study on nutritional composition of bighorn sheep diet (Guerrero-Cárdenas et al., 2018). In this regard, crude protein and phosphorus, as established by McKinney et al. (2006) for the southern United States of America, could be limiting the development of wildlife populations in northern Mexico. Therefore, evaluating the crude protein and phosphorus content of the plant species that make up the diet of bighorn sheep will generate knowledge about their nutritional status. This evaluation is an important tool to create management strategies for their survival and conservation. The objective was to determine the contents and nutritional values of phosphorus and crude protein in the seasonal diet of bighorn sheep (*Ovis canadensis mexicana*) in the UMA Rancho Noche Buena, Sonora, Mexico.

## Introducción

El borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*) se considera una especie prioritaria para la conservación y está sujeta a protección especial por la legislación mexicana (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2019). Actualmente, el borrego cimarrón se distribuye de manera natural en el noroeste de Sonora (Sandoval, et al., 2014). Ahí, su aprovechamiento cinegético se plantea como una herramienta de conservación importante. A esta especie, sus estrategias de supervivencia le han permitido adaptarse a ambientes desérticos (Sandoval et al., 2014). Entre ellas destaca la selección de alimentos que le brindan la mayor calidad nutritiva aún en periodos de sequía y temperaturas calientes prolongadas (Bleich, et al., 1997). Su dieta se compone de especies de arbustos, herbáceas y suculentas; los borregos cimarrones las seleccionan de acuerdo con su disponibilidad y valor nutritivo (Tarango, et al., 2002; Guerrero-Cárdenas et al., 2018).

El aporte de nutrientes de los alimentos está ligado a procesos fisiológicos que se reflejan en la dinámica poblacional de ungulados (McKinney, et al., 2006). La proteína y el fósforo son nutrientes primordiales en la sobrevivencia de organismos que habitan en condiciones ambientales extremas (McKinney et al., 2006). El consumo de proteína tiene una relación importante con la sobrevivencia del borrego cimarrón en ambientes áridos (Gedir et al., 2016; Cain et al., 2017). El fósforo es un elemento fundamental del sistema esquelético animal, incide en el funcionamiento correcto del rumen y su deficiencia se refleja en la absorción reducida de nutrientes (Orellana et al., 2020). El fósforo en el alimento se considera limitante para las poblaciones de ungulados en ecosistemas áridos del sur de Estados Unidos (McKinney et al., 2006).

En México los estudios sobre el borrego cimarrón han versado sobre composición de la dieta (Tarango et al., 2002; Guerrero-Cárdenas et al., 2016; O'Farrill, et al., 2019; Peralta, 2020; Gastelum-Mendoza et al., 2021), uso de hábitat (Tarango et al., 2002a; O'Farrill et al., 2019), uso de aguajes naturales (Escobar- Flores et al., 2016) y solo uno sobre composición nutricional de la dieta del borrego cimarrón (Guerrero-Cárdenas et al., 2018). Al respecto, la proteína cruda y el fósforo, como lo establecen McKinney et al. (2006) para el sur de los Estados Unidos de América, podrían estar limitando el desarrollo de las poblaciones de fauna silvestre en el norte de México. Por ello, la evaluación del contenido de proteína cruda y fósforo de las especies vegetales que componen la dieta del borrego cimarrón generará conocimiento sobre su estado nutricional. Dicha evaluación es una herramienta importante para la generación de estrategias de manejo

## Materials and Methods

The research was carried out at the 'Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre' (UMA) Rancho Noche Buena, located 14.2 km from the Gulf of California, in the northeast of the municipality of Hermosillo, Sonora (Figure 1). This UMA has an area of 16 800 ha and its altitude ranges from 20 to 1 060 masl at the top of the Sierra Pico Johnson. The climate is BWH(x') arid semi-warm; mean annual temperature is 21.9 °C; maximum temperature is 31.8 °C and mean annual precipitation is 172.9 mm (Servicio Meteorológico Nacional [SMN], 2010). During the study period, precipitation was 182 mm in 2018 and 228 mm in 2019 (NASA-EARTHDATA, 2020). Vegetation is sarcocaulescent scrub, arbosufrutescent scrub and crassicule scrub. This UMA provides habitat for Mexican bighorn sheep (*Ovis canadensis mexicana*), white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*), and mule deer (*Odocoileus hemionus*).

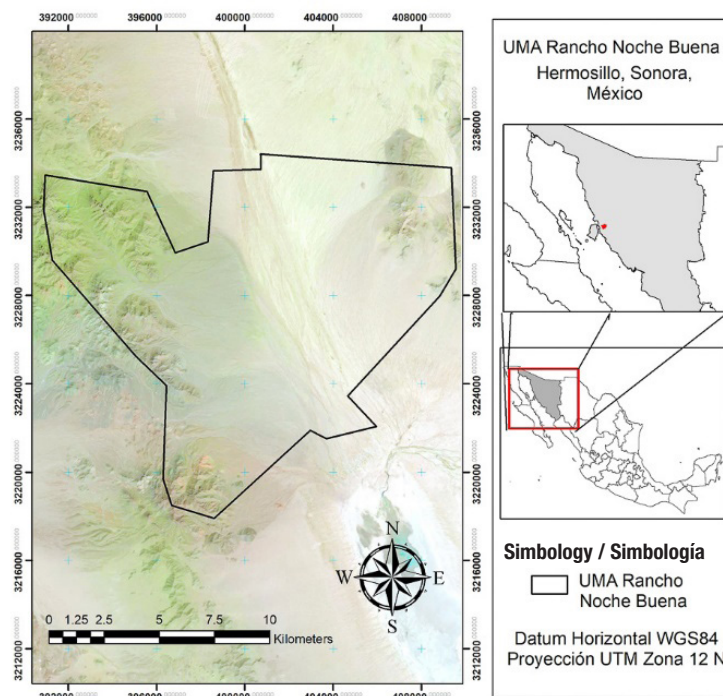
During the fall of 2018 and 2019, 37 plant species were collected in the feeding areas of bighorn sheep by simulated foraging trying to make up 91.5 % of their diet. Collected plants were identified by genus and species (León et al., 2018). Plant samples were dried at 60 °C to constant weight. Those samples were ground and passed through a 1 mm diameter sieve. Phosphorus was determined in 11 plant species collected in 2018 and in 31 species collected in 2019. Prior to phosphorus (P) determination, samples

para su sobrevivencia y conservación. El objetivo fue determinar los contenidos y valores nutricionales del fósforo y la proteína cruda en la dieta estacional del borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*) en la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México.

## Materiales y métodos

La investigación se realizó en la Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) Rancho Noche Buena, localizada a 14.2 km del Golfo de California, en el noreste del municipio de Hermosillo, Sonora (Figura 1). Esta UMA tiene una superficie de 16800 ha y su altitud varía de 20 a 1060 msnm en la cima de la Sierra Pico Johnson. El clima es BWH(x') árido semicálido; la temperatura media anual es 21.9 °C; la temperatura máxima es 31.8 °C y la precipitación media anual es 172.9 mm (Servicio Meteorológico Nacional [SMN], 2010). Durante el periodo de estudio, la precipitación fue 182 mm en 2018 y 228 mm en 2019 (NASA-EARTHDATA, 2020). La vegetación presente es matorral sarcocaulescente, matorral arbosufrutescente y matorral crasicale. Esta UMA provee hábitat a las especies borrego cimarrón mexicano (*Ovis canadensis mexicana*), venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y venado bura (*Odocoileus hemionus*).

Durante los otoños de 2018 y 2019, en las zonas de alimentación del borrego cimarrón se recolectaron 37 especies de plantas mediante forrajeo simulado procurando que constituyeran el 91.5 % de su dieta.



**Figure 1. Location of the UMA Rancho Noche Buena, municipality of Hermosillo, Sonora, Mexico.**  
**Figura 1. Ubicación de la UMA Rancho Noche Buena, municipio de Hermosillo, Sonora, México.**

were processed by microwave-assisted acid digestion (WX-6000, Prekem, China). Phosphorus content was determined by spectrophotometry with the vanadomolybdophosphoric acid method (Secretaría de Economía [SE], 2001) using a visible range spectrophotometer (Genesys 10S vis, Thermo Fisher Scientific, USA) considering a wavelength of 430 nm.

Crude protein (CP) was determined in 37 plant species collected in 2018, according to the combustion method Dumas 990.03 (AOAC, 1990) on a TruSpec N Analyzer equipment (630-100-200, LECO, USA). CP content was determined in 30 plants of species collected in 2019, according to the AS-25 method by the Kjeldahl procedure in accordance with the Mexican Official Standard NOM-F-68-S-1980 (Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial [SEPAFIN], 1980).

### Nutrient requirements and nutritional balance

The nutritional balance was determined based on the contribution of plant nutrients to the seasonal diet and the P and CP requirements established for domestic sheep (National Research Council [NRC], 2007) (Table 1). For this purpose, nutrient intake was estimated based on the theoretical dry matter (DM) intake at each physiological stage and the intake of CP and P from the diet; subsequently, the intake was compared with the corresponding CP and P requirement for each physiological stage (Moen & Scholtz, 1981).

The nutritional balance was obtained from the DM intake needed to satisfy the P requirement (DMIP):  $[(DMI)]_P = (gP \cdot d^{-1} \text{ requirement}) / (gP \cdot kg DM^{-1})$ .

The nutritional balance was obtained from the DM intake needed to satisfy the CP requirement (DMICP):  $[(DMI)]_{CP} = (gCP \cdot d^{-1} \text{ requirement}) / (gCP \cdot kg DM^{-1})$ .

A positive balance was considered when nutrient intake was equal to or higher than the requirement; and a negative balance was considered when intake was lower than the requirement.

## Results and Discussion

### Phosphorus and crude protein contents in plants

Estimated plant P content ranged from 1.1 to 2.1 g·kg DM<sup>-1</sup> in trees, from 0.8 to 4.0 g·kg DM<sup>-1</sup> in shrubs, from 0.7 to 3.3 g·kg DM<sup>-1</sup> in herbaceous plants and from 0.3 to 1.4 g·kg DM<sup>-1</sup> in succulents. P content was higher in new shoots of plants and may vary in relation to phenological stages, among species; environmental factors have a direct impact on its availability and content in plants (McKinney et al., 2006). The species with the highest P content were *Abutilon incanum* (4.0 g·kg DM<sup>-1</sup>), *Tribulus terrestris* (3.3 g·kg DM<sup>-1</sup>),

Las plantas recolectadas se identificaron hasta género y especie (León et al., 2018). Las muestras de plantas se secaron a 60 °C hasta peso constante. Dichas muestras se molieron y pasaron por un tamiz de 1 mm de diámetro. El fósforo se determinó en 11 especies de plantas recolectadas en 2018 y en 31 especies recolectadas en 2019. Previa a la determinación de fósforo (P), las muestras se procesaron mediante la digestión ácida asistida por microondas (WX-6000, Prekem, China). El contenido de fósforo se determinó por espectrofotometría con el método de ácido vanadomolibdofosfórico (Secretaría de Economía [SE], 2001) en un espectrofotómetro de rango visible (Genesys 10S vis, Thermo Fisher Scientific, USA) considerando una longitud de onda de 430 nm.

En 37 especies vegetales recolectadas en 2018 se determinó la proteína cruda (PC), según el método de combustión Dumas 990.03 (AOAC, 1990) en un equipo TruSpec N Analyzer (630-100-200, LECO, USA). En 30 plantas de especies recolectadas en 2019 se determinó el contenido de PC, según el método AS-25 por el procedimiento Kjeldahl de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-F-68-S-1980 (Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial [SEPAFIN], 1980).

### Requerimientos y balance nutricional

El balance nutricional se determinó en función del aporte de nutrientes de las plantas a la dieta estacional y de los requerimientos de P y PC establecidos para borregos domésticos (National Research Council [NRC], 2007) (Cuadro 1). Para ello, la ingesta de nutrientes se estimó con base en el consumo teórico de materia seca (MS) en cada etapa fisiológica y el aporte de PC y P por la dieta; posteriormente, la ingesta se comparó con el requerimiento de PC y P correspondiente para cada etapa fisiológica (Moen & Scholtz, 1981).

El balance nutricional se obtuvo a partir del consumo de MS necesario para satisfacer el requerimiento de P (CMSP):  $cCMS]_P = (\text{Requerimiento } gP \cdot d^{-2}) / (gP \cdot kg MS^{-1})$ .

El balance nutricional se obtuvo a partir del consumo teórico de MS necesario para satisfacer las necesidades de PC (CMSPC):  $[(CMS)]_{PC} = (\text{Requerimiento } gPC \cdot d^{-1}) / (gPC \cdot kg MS^{-1})$ .

Un balance positivo se consideró cuando la ingesta de nutrientes fue igual o mayor al requerimiento; y un balance negativo se consideró cuando la ingesta fue menor al requerimiento.

## Resultados y discusión

### Contenidos de fósforo y proteína cruda en plantas

El contenido de P de las plantas estimado varió entre 1.1 a 2.1 g·kg MS<sup>-1</sup> en árboles, entre 0.8 a 4.0 g·kg MS<sup>-1</sup> en

**Table 1. Phosphorus, crude protein and dry matter intake requirements in domestic sheep (NRC, 2007).****Cuadro 1. Requerimientos de fósforo, proteína cruda y consumo de materia seca en borregos domésticos (NRC, 2007).**

Stage/Etapa	Live weight (kg)/ Peso vivo (kg)	Posphorus (g·day <sup>-1</sup> )/ Fósforo (g·día <sup>-1</sup> )	Crude protein (g·day <sup>-1</sup> )/ Proteína cruda (g·día <sup>-1</sup> )	IDM/CMS	
				% LW/% PV	kg
Sheep grazing maintenance/ Mantenimiento de oveja en pastoreo	50	1.6	70	1.89	0.94
Ram maintenance/ Mantenimiento de carnero	100	3.1	128	1.77	1.77
Early lactation of grazing sheep/ Lactancia temprana de oveja en pastoreo	50	4.5	188	3.20	1.60
Late lactation of grazing sheep/ Lactancia tardía de oveja en pastoreo	50	2.9	165	3.60	1.80
Lamb growth/ Crecimiento de corderos	20	1.5	76	2.86	0.57

DMI = Dry matter intake; LW = Live weight.

CMS = Consumo de materia seca; PV = Peso vivo.

*Trianthema portulacastrum* (3.0 g·kg DM<sup>-1</sup>) and *Dalea mollissima* (2.7 g·kg DM<sup>-1</sup>). Bleich, et al. (2017) recorded values of 1.1 and 1.5 g·kg DM<sup>-1</sup> in *Ambrosia dumosa*, a value similar to that found in the present study (1.7 g·kg DM<sup>-1</sup>). On the contrary, a mixture composed of forages including *Ambrosia dumosa*, *Euphorbia* spp., *Olneya tesota* and *Jatropha cuneata* reported values between 0.9 and 1.1 g P from August to November (Fox, et al, 2000); these values are lower than those found for the same plant species in the present study.

The CP content of species types ranged between years. In 2018, herbaceous plants had 101-253 g·kg DM<sup>-1</sup>, trees had 116-213 g·kg DM<sup>-1</sup> and shrubs had 67-273 g·kg DM<sup>-1</sup> (higher values). In 2019, trees had 119-155 g·kg DM<sup>-1</sup>, shrubs had 61-180 g·kg DM<sup>-1</sup> and herbaceous plants had 37-168 g·kg DM<sup>-1</sup> (higher content). In both years, succulents had the lowest CP contents (32-63 g·kg DM<sup>-1</sup> in 2018 and 26-55 g·kg DM<sup>-1</sup> in 2019). The CP content was slightly lower in 2019 for shrubs and trees; herbaceous plants had a significant decrease in CP. Higher CP contents in trees and shrubs are associated with forage production being more stable than herbaceous throughout the year (Gedir et al., 2016). Herbaceous plants have greater variation in CP content, which may be related to the amount of precipitation (Gedir et al., 2016). Precipitation recorded in the UMA Rancho Noche Buena was slightly higher in 2019 than in 2018 (NASA-EARTHDATA, 2020); however, CP content was lower in 2019 than in 2018.

The CP content of species was higher in 2018 ( $\bar{x}$ =150 g) than in 2019 ( $\bar{x}$ =99 g); that difference may be associated with environmental conditions and seasonal changes in plant phenology and physiology (McKinney et al., 2006). Species with higher CP contents in both years were *Colubrina viridis*, *Dalea mollissima*, *Mascagnia macroptera*,

arbustos, entre 0.7 a 3.3 g·kg MS<sup>-1</sup> en herbáceas y entre 0.3 a 1.4 g·kg MS<sup>-1</sup> en suculentas. El contenido de P fue mayor en brotes nuevos de las plantas y puede variar en relación con las etapas fenológicas, entre especies; los factores ambientales repercuten directamente sobre su disponibilidad y el contenido de los vegetales (McKinney et al., 2006). Las especies con mayor contenido de P fueron *Abutilon incanum* (4.0 g·kg MS<sup>-1</sup>), *Tribulus terrestris* (3.3 g·kg MS<sup>-1</sup>), *Trianthema portulacastrum* (3.0 g·kg MS<sup>-1</sup>) y *Dalea mollissima* (2.7 g·kg MS<sup>-1</sup>). Bleich, et al. (2017) consignaron valores de 1.1 y 1.5 g·kg MS<sup>-1</sup> en *Ambrosia dumosa*, valor similar al encontrado en el presente estudio (1.7 g·kg MS<sup>-1</sup>). Por el contrario, una mezcla compuesta de forrajes que incluyeron *Ambrosia dumosa*, *Euphorbia* spp., *Olneya tesota* y *Jatropha cuneata* tuvo valores entre 0.9 y 1.1 g de P desde agosto hasta noviembre (Fox, et al, 2000); esos valores son menores a los encontrados en las mismas especies de plantas en el presente estudio.

El contenido de PC de los tipos de especies varió entre años. En 2018, las herbáceas tuvieron 101-253 g·kg MS<sup>-1</sup>, los árboles tuvieron 116-213 g·kg MS<sup>-1</sup> y los arbustos tuvieron 67-273 g·kg MS<sup>-1</sup> (valores mayores). En 2019, los árboles tuvieron 119-155 g·kg MS<sup>-1</sup>, los arbustos tuvieron 61-180 g·kg MS<sup>-1</sup> y las herbáceas tuvieron 37-168 g·kg MS<sup>-1</sup> (contenidos mayores). En ambos años, las suculentas presentaron los contenidos de PC menores (32-63 g·kg MS<sup>-1</sup> en 2018 y 26-55 g·kg MS<sup>-1</sup> en 2019). El contenido de PC fue ligeramente menor en 2019 para arbustos y árboles; las herbáceas presentaron una disminución significativa de PC. Los contenidos mayores de PC en árboles y arbustos se asocian a que su producción de forraje es más estable que las herbáceas a través del año (Gedir et al., 2016). Las herbáceas tienen variación mayor en el contenido de PC, lo cual puede estar relacionado con la cantidad de precipitación

*Parkinsonia microphylla* and *Ebenopsis confinis*. In 2018, the species with higher CP contents were *Colubrina viridis* (273.8 g·kg DM<sup>-1</sup>), *Euphorbia eriantha* (253.9 g·kg DM<sup>-1</sup>), *Dalea mollissima* (252.7 g·kg DM<sup>-1</sup>), *Tidestromia lanuginosa* (224.1 g·kg DM<sup>-1</sup>), *Parkinsonia microphylla* (213.8 g·kg DM<sup>-1</sup>) and *Cardiospermum corindum* (213.7 g·kg DM<sup>-1</sup>); while in 2019, the highest contents corresponded to *Mascagnia macroptera* (180.3 g·kg DM<sup>-1</sup>), *Dalea mollissima* (168.6 g·kg DM<sup>-1</sup>), *Colubrina viridis* (155.9 g·kg DM<sup>-1</sup>), *Olneya tesota* (155.0 g·kg DM<sup>-1</sup>), *Fouquieria splendens* (152.5 g·kg DM<sup>-1</sup>) and *Acacia willardiana* (138.4 g·kg DM<sup>-1</sup>). In this regard, Marshal, et al. (2005) indicated that the lowest CP content corresponds to *Ambrosia dumosa* (17.5 %) and similar amounts were found in *Olneya tesota* (16.8 %). Krausman et al. (1990) reported similar protein contents in *Parkinsonia microphylla* (12.22 %), *Ditaxis lanceolata* (10.43 %) and *Simmondsia chinensis* (10.98 %); while the highest content corresponded to *Carnegiea gigantea* (13.75 %).

### Phosphorus and crude protein content in the diet

Phosphorus contribution between 2018 and 2019 was 1.39 g·kg DM<sup>-1</sup>; shrubs had the highest contribution (0.71 g·kg DM<sup>-1</sup>), then trees (0.40 g·kg DM<sup>-1</sup>), herbaceous plants (0.15 g·kg DM<sup>-1</sup>) and succulents (0.13 g·kg DM<sup>-1</sup>). The species most consumed by bighorn sheep had the highest P intake; these were *Acacia willardiana* (0.319 g·kg DM<sup>-1</sup>), *Hibiscus denudatus* (0.193 g·kg DM<sup>-1</sup>), *Mascagnia macroptera* (0.179 g·kg DM<sup>-1</sup>), *Simmondsia chinensis* (0.092 g·kg DM<sup>-1</sup>) and *Ferocactus wislizenii* (0.091 g·kg DM<sup>-1</sup>). P intake by cervids is lower than the optimum level (2.5-2.9 g·kg DM<sup>-1</sup>) (Ramirez, et al., 1996); while in white-tailed deer, intake was extremely lower than that level throughout the year (Tajchman, et al., 2018).

CP contribution was higher in 2018 (125.5 g·kg DM<sup>-1</sup>) than in 2019 (93.9 g·kg DM<sup>-1</sup>). Shrubs (74.2 g·kg DM<sup>-1</sup> in 2018 and 55.8 g·kg DM<sup>-1</sup> in 2019) and trees (31.4 g·kg DM<sup>-1</sup> in 2018 and 27.9 g·kg DM<sup>-1</sup> in 2019) were the botanical forms providing the greatest amount of CP in both years, while herbaceous plants (15.2 g·kg DM<sup>-1</sup> in 2018 and 4.1 g·kg DM<sup>-1</sup> in 2019) and succulents (4.7 g·kg DM<sup>-1</sup> in 2018 and 6.1 g·kg DM<sup>-1</sup> in 2019) had lower contributions. The preference of bighorn sheep for woody plants is associated with their CP content and availability throughout the year (Krausman et al., 1990; Tarango et al., 2002; Cain et al., 2017; Guerrero-Cárdenas et al., 2018). In this study, herbaceous and succulent plants contributed little CP to the diet of bighorn sheep, due to their reduced content and, consequently, those species were less consumed. However, these plant groups are nutritionally relevant for adult and year-round bighorn sheep lambs. In this study, herbaceous and succulent plants provided little CP to the diet of bighorn sheep, due to their reduced content and, consequently, those species

(Gedir et al., 2016). La precipitación registrada en la UMA Rancho Noche Buena fue ligeramente mayor en 2019 que en 2018 (NASA-EARTHDATA, 2020); sin embargo, el contenido de PC fue menor en 2019 que en 2018.

El contenido de PC de las especies fue mayor en 2018 ( $\bar{x}$ =150 g) que en 2019 ( $\bar{x}$ =99 g); esa diferencia puede estar asociada a las condiciones ambientales y cambios estacionales en la fenología y fisiología de las plantas (McKinney et al., 2006). Las especies con contenidos mayores de PC en ambos años fueron *Colubrina viridis*, *Dalea mollissima*, *Mascagnia macroptera*, *Parkinsonia microphylla* y *Ebenopsis confinis*. En 2018, las especies con contenidos mayores de PC fueron *Colubrina viridis* (273.8 g·kg MS<sup>-1</sup>), *Euphorbia eriantha* (253.9 g·kg MS<sup>-1</sup>), *Dalea mollissima* (252.7 g·kg MS<sup>-1</sup>), *Tidestromia lanuginosa* (224.1 g·kg MS<sup>-1</sup>), *Parkinsonia microphylla* (213.8 g·kg MS<sup>-1</sup>) y *Cardiospermum corindum* (213.7 g·kg MS<sup>-1</sup>); mientras que en 2019, los contenidos mayores correspondieron a *Mascagnia macroptera* (180.3 g·kg MS<sup>-1</sup>), *Dalea mollissima* (168.6 g·kg MS<sup>-1</sup>), *Colubrina viridis* (155.9 g·kg MS<sup>-1</sup>), *Olneya tesota* (155.0 g·kg MS<sup>-1</sup>), *Fouquieria splendens* (152.5 g·kg MS<sup>-1</sup>) y *Acacia willardiana* (138.4 g·kg MS<sup>-1</sup>). Al respecto, Marshal, et al. (2005) señalaron que el contenido menor de PC corresponde a *Ambrosia dumosa* (17.5 %) y cantidades similares se evidenciaron en *Olneya tesota* (16.8 %). Por su parte, Krausman, et al. (1990) consignaron contenidos de proteína similares en *Parkinsonia microphylla* (12.22 %), *Ditaxis lanceolata* (10.43 %) y *Simmondsia chinensis* (10.98 %); mientras que el contenido mayor correspondió a *Carnegiea gigantea* (13.75 %).

### Aportes de fósforo y proteína cruda de la dieta

El aporte de fósforo entre 2018 y 2019 fue de 1.39 g·kg MS<sup>-1</sup>; los arbustos presentaron el aporte mayor (0.71 g·kg MS<sup>-1</sup>), después los árboles (0.40 g·kg MS<sup>-1</sup>), las herbáceas (0.15 g·kg MS<sup>-1</sup>) y las suculentas (0.13 g·kg MS<sup>-1</sup>). Las especies más consumidas por el borrego cimarrón presentaron el aporte mayor de P; estas fueron *Acacia willardiana* (0.319 g·kg MS<sup>-1</sup>), *Hibiscus denudatus* (0.193 g·kg MS<sup>-1</sup>), *Mascagnia macroptera* (0.179 g·kg MS<sup>-1</sup>), *Simmondsia chinensis* (0.092 g·kg MS<sup>-1</sup>) y *Ferocactus wislizenii* (0.091 g·kg MS<sup>-1</sup>). La ingesta de P por cérvidos es menor que el nivel óptimo (2.5-2.9 g·kg MS<sup>-1</sup>) (Ramírez, et al., 1996); mientras que en venado cola blanca, la ingesta fue extremadamente menor que dicho nivel durante todo el año (Tajchman, et al., 2018).

El aporte de PC fue mayor en 2018 (125.5 g·kg MS<sup>-1</sup>) que en 2019 (93.9 g·kg MS<sup>-1</sup>). Los arbustos (74.2 g·kg MS<sup>-1</sup> en 2018 y 55.8 g·kg MS<sup>-1</sup> en 2019) y árboles (31.4 g·kg MS<sup>-1</sup> en 2018 y 27.9 g·kg MS<sup>-1</sup> en 2019) fueron las formas botánicas que aportaron mayor cantidad de PC en ambos años, mientras que las herbáceas (15.2 g·kg MS<sup>-1</sup> en 2018 y 4.1 g·kg MS<sup>-1</sup> en 2019) y

were less consumed. However, these plant groups are nutritionally relevant for adult and lactating bighorn sheep throughout the year (Bleich et al., 1997; McKinney et al., 2006).

The species with the highest CP contribution in both years were *Acacia willardiana*, *Mascagnia macroptera*, *Hibiscus denudatus* and *Simmondsia chinensis*. It is important to highlight that, although *Ferocactus wislizenii* had a reduced level of CP, its consumption in relatively large quantities provided an important amount of protein to the diet. Moreover, the consumption of *Ferocactus wislizenii* is important for the water balance of bighorn sheep in arid environments; this may explain its consumption in considerably large quantities (Warrick & Krausman, 1989).

### Phosphorus and crude protein nutritional balance

The nutritional balance of phosphorus was negative in all physiological stages; the greatest deficit was found in lambs in early lactation, then in growing lambs, during the maintenance of rams, during late lactation and during the maintenance of sheep (Table 2). In sheep, P deficiency is associated with reduced forage content and excess of other minerals (NRC, 2007; Barboza, et al., 2009). P deficiency in lambs causes decreased DM intake, poor weight gain and minimal growth rate, bone demineralization, bone deformation and poor antler development (McKinney et al., 2006; NRC, 2007). However, the P deficit in lambs could be lower than that estimated because milk intake is a rich source of phosphorus and easily absorbed (Barboza

suculentas (4.7 g·kg MS<sup>-1</sup> en 2018 y 6.1 g·kg MS<sup>-1</sup> en 2019) presentaron aportes menores. La preferencia del borrego cimarrón por plantas leñosas se asocia a su contenido y disponibilidad de PC 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, las herbáceas y suculentas aportaron poca PC a la dieta del borrego cimarrón, por su contenido reducido y, en consecuencia, esas especies fueron menos consumidas. Sin embargo, estos grupos de plantas son nutricionalmente relevantes para adultos y corderos de borrego cimarrón durante todo el año (Bleich et al., 1997; McKinney et al., 2006).

Las especies con el aporte mayor de PC en ambos años fueron *Acacia willardiana*, *Mascagnia macroptera*, *Hibiscus denudatus* y *Simmondsia chinensis*. Algo importante es resaltar que, aunque *Ferocactus wislizenii* presentó un nivel reducido de PC, su consumo en cantidades relativamente grandes le permitió aportar una cantidad importante de proteína a la dieta. Además, el consumo de *Ferocactus wislizenii* es importante para el balance hídrico del borrego cimarrón en ambientes áridos; ello puede explicar su consumo en cantidades considerablemente grandes (Warrick & Krausman, 1989).

### Balance nutricional de fósforo y proteína cruda

El balance nutricional de fósforo fue negativo en todas las etapas fisiológicas; el déficit mayor se presentó en ovejas durante la lactancia temprana, después en corderos en crecimiento, durante el mantenimiento de carneros, durante lactancia tardía y durante el

**Table 2. Intake and nutritional balance of phosphorus and crude protein of bighorn sheep (*Ovis canadensis mexicana*) in the UMA Rancho Noche Buena, Sonora, Mexico.**

**Cuadro 2. Ingesta y balance nutricional de fósforo y proteína cruda de borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*) en la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México.**

Stage/Etapa	Nutrient intake (g·day <sup>-1</sup> )/ Ingesta de nutrientes (g·día <sup>-1</sup> )			Nutritional balance (g·day <sup>-1</sup> )/ Balance nutricional (g·día <sup>-1</sup> )		
	P 2018- 2019	CP/PC 2018	CP/PC 2019	P 2018-2019	CP/PC 2018	CP/PC 2019
Grazing sheep maintenance/ Mantenimiento de oveja en pastizal	1.30	118.0	88.3	-0.30	48.0	18.3
Ram maintenance/ Mantenimiento de carnero	2.45	222.2	166.3	-0.65	94.2	38.3
Grazing sheep early lactation/ Lactancia temprana de oveja en pastizal	2.22	200.9	150.3	-2.28	12.9	-37.7
Grazing sheep late lactation/ Lactancia tardía de oveja en pastizal	2.50	226.0	169.1	-0.40	61.0	4.1
Lamb growth/ Crecimiento de corderos	1.79	71.6	53.5	-0.71	-4.4	-22.5

P = Phosphorus; CP = Crude protein

P = Fósforo; PC = Proteína cruda

et al., 2009; McKinney et al., 2006). Female sheep had negative P balance, which is associated with health problems during lactation, delayed or suspended estrus, decreased conception rate and reduced milk production, and even reproductive activity could stop when there are severe P deficiencies (McKinney et al., 2006; Barboza et al., 2009).

CP balance was positive for rams and sheep maintenance in both years (Table 2). In addition, CP balance was positive for lactating sheep in 2018. However, lactating female sheep were not able to meet CP requirements in 2019. Female bighorn sheep are able to favor their own condition over that of their offspring, in environments with low CP availability, their lambs are small, and survival is reduced (Parker, et al., 2009; Martin & Festa-Bianchet, 2010). On the other hand, CP balance was positive for the late lactation stage in 2018 and 2019; surplus CP could be used as a reserve or for muscle tissue gain.

CP balance for lamb growth was negative in both years, with a larger deficit in 2019. Under these conditions, lambs may lose weight and reduce growth rate and have reduced survivals. However, lambs may obtain protein from milk and CP balance could be higher than that determined regarding the diet (Martin & Festa-Bianchet, 2010).

Results of this study and interpretation should be taken with caution, because information on nutritional requirements for domestic sheep was used and bighorn sheep are less susceptible to nutrient deficiencies because they have adapted to live in desert environments (McKinney et al., 2006; Poppenga, et al., 2012).

## Conclusions

The nutritional balance carried out for bighorn sheep during the fall of 2018 and fall of 2019 allowed us to know, in general, the nutritional condition of bighorn sheep. Phosphorus deficiencies were found during all physiological stages of the bighorn sheep; among them, early lactation stage stands out. Nutritional balance showed that there are crude protein deficiencies in early lactation and lamb growth.

## Acknowledgments

Thanks to CONACYT for the support granted to carry out this study. Also, thanks to the staff of COLPOS Campus Veracruz for their collaboration in the analysis of samples. And to Roberto Noriega for allowing us access to the UMA Rancho Noche Buena.

*End of English version*

mantenimiento de ovejas (Cuadro 2). En borregos, la deficiencia de P se asocia al contenido reducido en el forraje y al exceso de otros minerales (NRC, 2007; Barboza, et al., 2009). La deficiencia de P en corderos causa disminución en consumo de MS, poca ganancia de peso y tasa de crecimiento mínima, desmineralización de los huesos, deformación ósea y desarrollo pobre de cornamenta (McKinney et al., 2006; NRC, 2007). Sin embargo, el déficit de P en corderos podría ser menor al estimado, debido a que la ingesta de leche es una fuente rica en fósforo y de absorción fácil (Barboza et al., 2009; McKinney et al., 2006). Las hembras presentaron balance de P negativo, lo cual se asocia con afectaciones a la salud durante la lactancia, retraso o suspensión del estro, disminución de la tasa de concepción y reducción de la producción de leche, e inclusive, la actividad reproductiva podría detenerse cuando hay deficiencias severas de P (McKinney et al., 2006; Barboza et al., 2009).

El balance de PC fue positivo para mantenimiento de carneros y ovejas en ambos años (Cuadro 2). Además, el balance de PC fue positivo para ovejas lactantes en 2018. Sin embargo, las hembras lactantes no alcanzaron a satisfacer los requerimientos de PC en 2019. Las hembras de borrego cimarrón son capaces de favorecer su propia condición sobre la de sus crías, en ambientes con poca disponibilidad de PC, sus corderos son pequeños y la sobrevivencia se reduce (Parker, et al., 2009; Martin & Festa-Bianchet, 2010). Por otra parte, el balance de PC fue positivo para la etapa de lactancia tardía en 2018 y 2019; la PC excedente podría ser usada como reserva o para la ganancia de tejido muscular.

El balance de PC para el crecimiento de corderos resultó negativo en ambos años, con un déficit mayor en 2019. En estas condiciones, los corderos pueden perder peso y reducir la tasa de crecimiento y tener sobrevivencias menguadas. Sin embargo, los corderos pueden obtener proteína de la leche y el balance de PC podría ser mayor al determinado en relación con la dieta (Martin & Festa-Bianchet, 2010).

Los resultados de este estudio y su interpretación deben ser tomados en cuenta con cautela, debido a que se utilizó información de los requerimientos nutricionales para borregos domésticos y que el borrego cimarrón es menos susceptible a las deficiencias de nutrientes debido a que se ha adaptado a vivir en ambientes desérticos (McKinney et al., 2006; Poppenga, et al., 2012).

## Conclusiones

El balance nutricional realizado para borrego cimarrón durante el otoño de 2018 y otoño del 2019 permitió conocer, de manera general, el estado nutricional del borrego cimarrón. Deficiencias de fósforo se



## References / Referencias

- AOAC, (1990). Official Methods of Analysis (15a ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>
- Barboza, P. S., Parker, K. L., y Hume, I. A. (2009). Integrative wildlife nutrition. Springer. Verlag Berlin Heidelberg, Germany: Springer.
- Bleich, V. C., Bowyer, T. R., y Wehausen, J. D. (1997). Sexual segregation in mountain sheep: resources or predation? *Wildlife Monographs*, 134(1), 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.
- 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(10), 1459-1471. [Doi.org/10.1111/oik.04282](https://doi.org/10.1111/oik.04282).
- Escobar-Flores, J. G., Valdez, R., Álvarez-Cárdenas, S., Díaz-Castro, S., Castellanos-Vera, A., Torres, J., y Delgado-Fernández, M. (2016). Watering sites use by bighorn sheep (*Ovis canadensis cremnobates*) and water quality analysis in Sierra Santa Isabel, Baja California, México. *Acta Universitaria*, 26(1), 12-19. [Doi:10.15174/au.2016.822](https://doi.org/10.15174/au.2016.822).
- 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.
- Gastelum-Mendoza, F. I., Tarango-Arámbula, L. A., Olmos-Oropeza, G., Palacio-Núñez, J., Valdez-Zamudio, D., y Noriega-Valdez, R. (2021). Diet and sexual segregation of desert bighorn sheep (*Ovis canadensis mexicana* Merriam) in Sonora, Mexico. *Agro Productividad*, 14, 1-9. <https://doi.org/10.32854/agrov.v14i6.2043>
- 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.org/10.1371/journal.pone.0148795](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148795)
- Guerrero-Cárdenas, I., Gallina, S., Corcuera, P., Álvarez-Cárdenas, S., y Ramírez-Orduña, R. (2016). Diet composition and selection of the bighorn sheep (*Ovis canadensis*) in Sierra El Mechudo, Baja California Sur, Mexico. *Therya*, 7(3), 423-437. <https://doi.org/10.12933/therya-16-394>
- 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. <https://doi.org/10.21829/azm.2018.3412113>
- Krausman, P. R., Bleich, 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. <https://repository.arizona.edu/handle/10150/609115>
- encontraron durante todas las etapas fisiológicas del borrego; entre ellas destaca la correspondiente a lactancia temprana. El balance nutricional demostró que existen deficiencias de proteína cruda en la lactancia temprana y crecimiento de corderos.

## Agradecimientos

Al CONACYT por la beca otorgada para la realización del presente estudio. Al personal del COLPOS Campus Veracruz por su apoyo en el análisis de muestras. A Roberto Noriega por permitirnos el acceso a la UMA Rancho Noche Buena.

## Fin de la versión en español

- 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](https://doi.org/10.17129/botsci.1885)
- 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.org/10.2111/1551-5028\(2005\)058\[0360:RTAFDA\]2.0.CO;2](https://doi.org/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.org/10.1086/656267](https://doi.org/10.1086/656267)
- 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.org/10.2193/0084-0173\(2006\)164\[1:EOFPIA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0084-0173(2006)164[1:EOFPIA]2.0.CO;2)
- Moen, A. N., y Scholtz, S. U. S. A. N. (1981). Nomographic estimation of forage intake by white-tailed deer. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 34(1), 74-76.
- NASA-EARTHDATA, Geospatial Interactive online visualization and analysis infrastructure (GIOVANNI) V 4.34. (2020). Obtenido de <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.org/10.17226/11654](https://doi.org/10.17226/11654).
- O'Farrill, G., Medellín, R. A., Matter, S. F., y Cameron, G. N. (2019). Habitat use and diet of desert bighorn sheep (*Ovis canadensis mexicana*) and endemic mule deer (*Odocoileus hemionus nelsonii*) on Tiburón Island, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 63(4), 225-234. <https://doi.org/10.1894/0038-4909-63-4-225>.
- Orellana, C., Parraguez, V. H., Arana, W., Escanilla, J., Zavaleta, C., y Castellano, G. (2020). Use of fecal indices as non-invasive tool for nutritional evaluation in extensive-grazing sheep. *Animals*, 10(1), 46. [Doi.org/10.3390/ani10010046](https://doi.org/10.3390/ani10010046)

- Parker, K. L., Barboza, P. S., y Gillingham, M. P. (2009). Nutrition integrates environmental responses of ungulates. *Functional Ecology*, 23(1), 57-69. Doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01528.x
- 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.
- 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.org/10.1177%2F1040638712441936
- 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.org/10.1016/S0921-4488(96)00895-4
- Sandoval, A. V., Valdez, R., y Espinoza, T. A. (2014). El borrego cimarrón en México. In R. Valdez y J. A. Ortega-S (Eds.), *Ecología y manejo de fauna silvestre en México* (1a. ed., pp. 475 – 505). México: Biblioteca Básica de Agricultura.
- 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.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2010). Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Normales5110/NORMAL26028.TXT>
- Tajchman, K., Steiner-Bogdaszewski, 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.org/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.org/10.2458/azu\_jrm\_v55i6\_tarango
- Tarango A. L. A. Krausman, P. R., y Valdez, R. (2002a). Habitat use by desert bighorn sheep in Sonora Mexico. *Pirineos*, 157, 219-226.
- Warrick, G. D., y Krausman, P. R. (1989). Barrel cacti consumption by desert bighorn sheep. *The Southwestern Naturalist*, 34(4), 483-486. Doi.org/10.2307/3671506