

Availability and forage selection by four species of ungulates in Sonora, Mexico

Disponibilidad y selección de forraje por cuatro especies de ungulados en Sonora, México

Krisly Saucedo-Uuh¹; Luis Antonio Tarango Arámbula^{1*};
Ricardo Serna-Lagunes²; Genaro Olmos-Oropeza¹;
Fernando Clemente-Sánchez¹; María Magdalena Crosby Galván³

¹Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Iturbide núm. 73, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, C. P. 78620, México.

²Universidad Veracruzana. Calle Josefa Ortiz de Domínguez s/n, col. Centro, Peñuela, Amatlán de Los Reyes, Veracruz, C. P. 94945, México.

³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230, México.

*Corresponding author: ltarango@colpos.mx

Abstract

In Wildlife Management and Conservation Units (UMAs), both livestock and hunting are common activities. However, the knowledge of nutritional aspects that increases the economic yield and ensures the sustainable use of resources is still limited. Therefore, the objective of this research was to generate knowledge about forage selectivity of some ungulates to conserve their populations and habitats. The relationship between forage uses and availability was determined for white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*), mule deer (*O. hemionus*), bighorn sheep (*Ovis canadensis mexicana*) and cattle (*Bos taurus*) in the UMA Rancho Noche Buena, Sonora, Mexico. During August-November 2022, plots were sampled to identify the plant species present in the diet of ungulates. The chi-squared test was used to evaluate the hypothesis that forage plants are consumed in proportion to their availability by each herbivore species. Plant selectivity was determined using Bonferroni intervals and Ivlev's selectivity index. Bonferroni intervals identified a higher percentage of rejected species, while the Ivlev index highlighted a higher percentage of selected species. Among the plants preferred by ungulates, *Olneya tesota* and *Simmondsia chinensis* were found. Understanding the foraging behavior of wild ungulates in interaction with cattle is essential for developing sustainable management strategies.

Keywords: sustainable management, Ivlev index, Bonferroni intervals, hunting management, forage patterns, arid zones.

Resumen

En las Unidades de Manejo para la Conservación de Vida Silvestre (UMA) concurren la ganadería y el aprovechamiento cinegético. Sin embargo, el conocimiento sobre los aspectos alimenticios que permitan incrementar el rendimiento económico y garantizar el uso sostenible de los recursos es aún limitado. Por ello, el objetivo de esta investigación fue generar conocimiento sobre la selectividad forrajera de algunos ungulados para conservar sus poblaciones y hábitats. Se determinó la relación entre el uso y la disponibilidad del forraje para el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), venado bura (*O. hemionus*), borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*) y ganado bovino (*Bos taurus*) en la UMA Rancho Noche Buena, Sonora, México. Durante agosto y noviembre de 2022, se realizaron muestreos en parcelas para identificar las especies vegetales presentes en la dieta de los ungulados. Se empleó la prueba de ji-cuadrada para evaluar la hipótesis de que las plantas forrajeras son consumidas en proporción a su disponibilidad por cada especie de herbívoro. La selectividad de las plantas se identificó con los intervalos de Bonferroni y el índice de selectividad de Ivlev. Los intervalos de Bonferroni identificaron un mayor porcentaje de especies rechazadas, mientras que el índice de Ivlev destacó un mayor porcentaje de especies seleccionadas. Entre las plantas preferidas por las especies de ungulados, se encontraron *Olneya tesota* y *Simmondsia chinensis*. Comprender el comportamiento forrajero de ungulados silvestres en interacción con el ganado bovino es fundamental para desarrollar estrategias de manejo sostenible.

Palabras clave: aprovechamiento sostenible, índice de Ivlev, intervalos de Bonferroni, manejo cinegético, patrones forrajeros, zonas áridas.

Please cite this article as follows (APA 7): Saucedo-Uuh, K., Tarango Arámbula, L. A., Serna-Lagunes, R., Olmos-Oropeza, G., Clemente-Sánchez, F., & Crosby Galván, M. M. (2024). Availability and forage selection by four species of ungulates in Sonora, Mexico. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 23, 39–51. <https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2023.10.008>



Revista Chapingo
Serie Zonas Áridas

Introduction

Ungulates are mammals that move by using their toe tips and whose herbivorous diets depend on the availability of food in their habitats (Yeates & McGreevy, 2018). In Mexico, species such as white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*), mule deer (*Odocoileus hemionus*), and bighorn sheep (*Ovis canadensis mexicana*) are important for the sustainable hunting use of biodiversity. This use is carried out through Wildlife Management and Conservation Units (UMAs), which provide a productive alternative to livestock and agriculture. However, different authors point out that these means of production have deficiencies in the knowledge of the basic biology of the harvested species, which leads to both economic and conservation limitations (Avendaño-Carmona & Hernández-Ramírez, 2018; Domenge-Muñoz & Pérez-Gómez, 2019; Guajardo-Quiroga & Martínez-Muñoz, 2004).

Forage selection by herbivores depends on intrinsic and extrinsic factors. Bailey et al. (1996) describe forage selection as a decision-making process, where animals prefer to forage in areas where they obtain more nutrients and avoid places with lower quality or difficult to access forage. In the habitat, forage availability and nutritional quality are factors that influence the selective patterns of wild ungulates (Ramírez-Lozano, 2004). To develop and implement sustainable management and conservation strategies for ungulates, it is essential to figure out their foraging ecology, including the analysis of the nutrients of the consumed forage, preferences for certain plant species and variations in their availability (Granados et al., 2014; Mellado, 2016).

In Mexico, more than half of the territory corresponds to arid and semi-arid zones, characterized by variable precipitation events in terms of quantity, space and time distribution. These conditions significantly affect plant phenology, forage conditions and their availability (Briones et al., 2018; Cain et al., 2017; Tarango-Arámbula, 2005). Therefore, studies may need to analyze the relationship between the use and availability of forage for the conservation of wildlife *in situ*, the preservation of native vegetation and the production of economic goods based on the biodiversity of these ecosystems (Granados et al., 2014; Mellado, 2016).

In view of the above, the objective of this study was to generate knowledge on the forage selectivity of some ungulates to preserve their populations and habitats. To this end, the relationship between the use and availability of forage plants for white-tailed deer, mule deer, bighorn sheep and cattle was analyzed at the UMA Rancho Noche Buena, located in Sonora, Mexico.

Introducción

Los ungulados son mamíferos que se desplazan apoyándose en la punta de sus dedos y cuya dieta herbívora depende de la disponibilidad de alimento en sus hábitats (Yeates & McGreevy, 2018). En México, especies como el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el venado bura (*Odocoileus hemionus*) y el borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*) tienen importancia en el aprovechamiento cinegético sostenible de la biodiversidad. Este aprovechamiento se realiza a través de las Unidades de Manejo para la Conservación de Vida Silvestre (UMA), las cuales ofrecen una alternativa productiva frente a la ganadería y la agricultura. Sin embargo, diversos autores señalan que estos medios de producción presentan deficiencias en el conocimiento de la biología básica de las especies aprovechadas, lo que genera limitaciones tanto económicas como de conservación (Avendaño-Carmona & Hernández-Ramírez, 2018; Domenge-Muñoz & Pérez-Gómez, 2019; Guajardo-Quiroga & Martínez-Muñoz, 2004).

La selección de forraje por los herbívoros depende de factores intrínsecos y extrínsecos. Bailey et al. (1996) describen la selección forrajera como un proceso de toma de decisiones, en donde los animales prefieren forrajear en áreas donde obtienen más nutrientes y evitan sitios con forraje de menor calidad o de difícil acceso. En el hábitat, la disponibilidad de forraje y la calidad nutrimental son factores que influyen sobre los patrones selectivos de los ungulados silvestres (Ramírez-Lozano, 2004). Para desarrollar e implementar estrategias sostenibles de manejo y conservación de ungulados, es fundamental comprender su ecología de forrajeo, incluyendo el análisis de los nutrientes del forraje consumido, las preferencias por ciertas especies vegetales y las variaciones en su disponibilidad (Granados et al., 2014; Mellado, 2016).

En México, más de la mitad del territorio corresponde a zonas áridas y semiáridas, las cuales se caracterizan por presentar eventos de precipitación variables en cantidad, distribución espacial y temporal. Estas condiciones impactan significativamente sobre la fenología de las plantas, las condiciones del forraje y su disponibilidad (Briones et al., 2018; Caín et al., 2017; Tarango-Arámbula, 2005). Por lo tanto, se requieren estudios que analicen la relación entre el uso y la disponibilidad del forraje para la conservación *in situ* de la fauna silvestre, la preservación de la vegetación nativa y la producción de bienes económicos basados en la biodiversidad de estos ecosistemas (Granados et al., 2014; Mellado, 2016).

Considerando lo anterior, el objetivo de este trabajo fue generar conocimiento sobre la selectividad forrajera de algunos ungulados para conservar sus poblaciones y hábitats. Para ello, se analizó la relación entre el uso y

Materials and Methods

Study area

This study was carried out at the Rancho Noche Buena UMA, located in Hermosillo, Sonora, Mexico ($29^{\circ} 07' 58.67''$ N and $112^{\circ} 02' 11.48''$ W) (Figure 1), from August to November 2022. The UMA has a predominantly flat topography, with two mountainous zones: Sierra Pico Johnson and Sierra Noche Buena (López-Saavedra et al., 1999). These mountain zones, due to their size and topography, are key to the development and survival of continental populations of bighorn sheep; additionally, they serve as an important ecological corridor for this game species (Segundo-Galán et al., 2024). Its climate is classified as BWh(x') -very arid and semi-warm-, with an annual average temperature between 18 and 22°C . The dry season extends from March to June, whereas the rainy season occurs primarily in July, August, September and November (García, 1998). The predominant vegetation types are arbosuffrutescent desert scrub, sarco-caulescent scrub, and crasicaule scrub (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información, 2019).

la disponibilidad de plantas forrajeras para venado cola blanca, venado bura, borrego cimarrón y ganado bovino en la UMA Rancho Noche Buena, ubicada en Sonora, México.

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la UMA Rancho Noche Buena, ubicada en Hermosillo, Sonora, México ($29^{\circ} 07' 58.67''$ N y $112^{\circ} 02' 11.48''$ O) (Figura 1), de agosto a noviembre de 2022. La UMA posee una topografía predominantemente plana, con presencia de dos zonas montañosas: Sierra Pico Johnson y Sierra Noche Buena (López-Saavedra et al., 1999). Estas sierras son clave para el desarrollo y la supervivencia de las poblaciones continentales de borrego cimarrón debido a su extensión y topografía; además, son importantes como corredor ecológico de esta especie cinegética (Segundo-Galán et al., 2024). Su clima es BWh(x') muy árido y semicálido, con temperatura media anual entre 18 y 22°C . La temporada seca se extiende de marzo a junio, mientras que la temporada de lluvias se concentra entre julio, agosto, septiembre y noviembre (García,

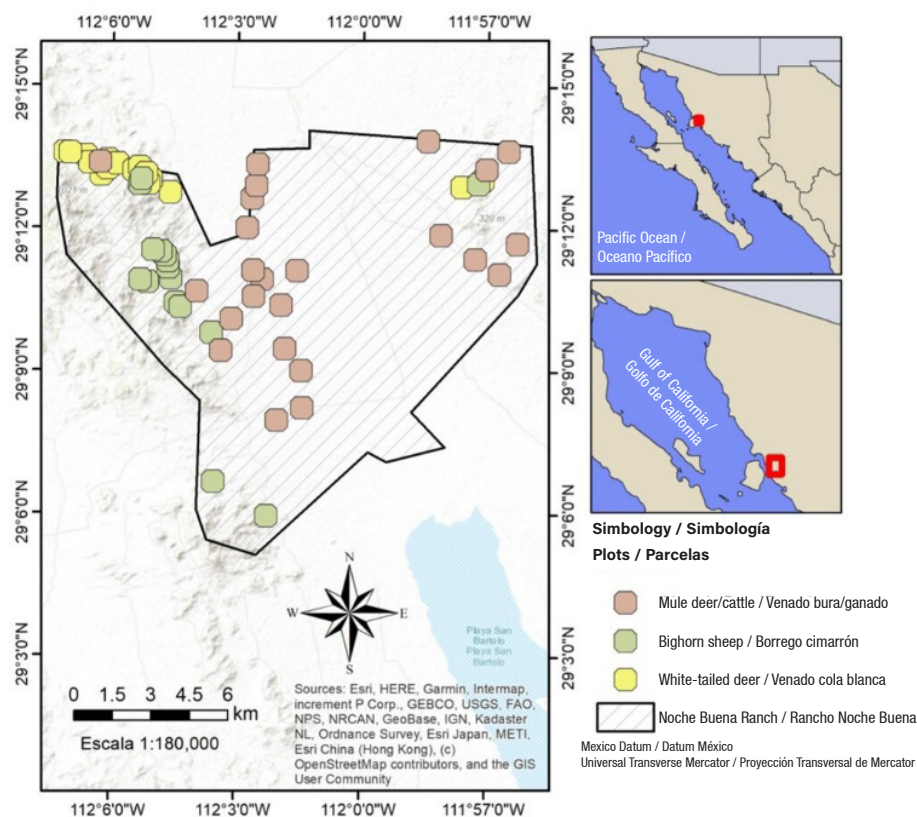


Figure 1. Location of the Rancho Noche Buena Wildlife Management and Conservation Unit, municipality of Hermosillo, Sonora, Mexico.

Figura 1. Ubicación de la Unidad de Manejo para la Conservación de Vida Silvestre Rancho Noche Buena, municipio de Hermosillo, Sonora, México.

Forage use and availability

The diet composition of ungulates in the study area was obtained from the results of Peralta-Pardo (2020), using the micro-histological technique described by González-Enbarcadero and Améndola (2010). Forage availability was assessed through the analysis of plots located in the distribution areas of the ungulate species within the UMA. The minimum number of sampling units in each zone was determined through prior sampling. The plots in areas occupied by mule deer and cattle (flat areas) measured 25 × 25 m, while those in the distribution areas of white-tailed deer and bighorn sheep (mountain areas) measured 20 × 20 m (Matteucci & Colma, 1982). In total, 56 plots were sampled (n = 24, mule deer/cattle; n = 16, white-tailed deer; n = 16, bighorn sheep) (Figure 1). Plots were delineated using a rope provided with four equidistant stakes marking the vertices. Within each plot, the botanical species included in the diet of the herbivore species studied were recorded and counted. For each plot, the coordinates in the Universal Transverse Mercator (UTM) system and the altitude (m a. s. l.) were recorded with a portable global positioning satellite system (GPS; model 20x, Garmin eTrex®).

Statistical analysis

Diet composition and vegetation sampling data (plant frequency) were analyzed using chi-squared tests, Bonferroni intervals (Byers et al., 1984) and Ivlev's selectivity index (Stuth, 1991) with the Excel® program (ver. 2016). For these analyses, it was assumed that the plant species registered in the plots matched those available during the sampling period used to determine the botanical composition of the diet by Peralta-Pardo (2020).

The Chi-squared test ($X^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$) was used to evaluate the hypothesis that forage plants were consumed by the herbivore species in proportion to their availability. When this hypothesis was rejected (X^2 calculated > X^2 from tables; $\alpha = 0.05$), plant selection by ungulates was identified with Bonferroni intervals as described by Byers et al. (1984). For example, the X^2 test was performed for the case of bighorn sheep as shown in Table 1.

With Bonferroni intervals, forage was classified into three categories: 1) selected, when the relative proportion of availability (P_{io}) was less than the lower limit, 2) proportional use according to its availability, when P_{io} was within the confidence interval, and 3) rejected, when P_{io} was higher than the upper limit. Plant species that did not have an expected use ($e_i \geq 5$) were excluded from the analysis (Byers et al., 1984).

1998). Los tipos de vegetación predominantes son el matorral arbosufrutescente, matorral sarcocauléscente y matorral crasicaulé (Instituto Nacional de Estadística, Geografía y Estadística [INEGI], 2019).

Uso y disponibilidad del forraje

La composición de la dieta de los ungulados en el área de estudio se obtuvo de los resultados de Peralta-Pardo (2020), a través de la técnica microhistológica descrita por González-Enbarcadero y Améndola (2010). La disponibilidad de forraje se evaluó mediante el análisis de parcelas ubicadas en las zonas de distribución de las especies de ungulados dentro de la UMA. El número mínimo de unidades de muestreo en cada zona se determinó en un muestreo previo. Las parcelas en las áreas ocupadas por el venado bura y el ganado bovino (áreas planas) fueron de 25 × 25 m, mientras que en las zonas de distribución del venado cola blanca y el borrego cimarrón (áreas de montaña) fueron de 20 × 20 m (Matteucci & Colma, 1982). En total se muestrearon 56 parcelas (n = 24, venado bura/ganado bovino; n = 16, venado cola blanca; n = 16, borrego cimarrón) (Figura 1). Las parcelas se delimitaron con una cuerda provista de cuatro estacas equidistantes correspondientes a los vértices. Dentro de cada parcela, se registraron y contabilizaron las especies botánicas presentes, correspondientes a la dieta de las especies de herbívoros estudiadas. Para cada parcela, se registraron las coordenadas en el sistema Universal Transversal de Mercator (UTM) y la altitud (m s. n. m.) con un sistema portátil de posicionamiento global satelital (GPS; modelo 20x, Garmin eTrex®).

Análisis estadístico

Los datos de la composición de la dieta y los muestreos de vegetación (frecuencia de plantas) se analizaron mediante pruebas de ji-cuadrada, intervalos de Bonferroni (Byers et al., 1984) e índice de selectividad de Ivlev (Stuth, 1991) con el programa Excel® (ver. 2016). Para estos análisis, se asumió que las especies vegetales registradas en las parcelas correspondían a las mismas disponibles durante el periodo de muestreo utilizado para determinar la composición botánica de la dieta por Peralta-Pardo (2020).

La prueba de ji-cuadrada ($X^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$) se utilizó para evaluar la hipótesis de que las plantas forrajeras fueron consumidas por las especies de herbívoros en proporción a su disponibilidad. Cuando esta hipótesis fue rechazada (X^2 calculada > X^2 de tablas; $\alpha = 0.05$), la selección de plantas por los ungulados se identificó con los intervalos de Bonferroni de acuerdo con lo descrito por Byers et al. (1984). Por ejemplo, la prueba de X^2 se realizó para el caso de borrego cimarrón como se aprecia en el Cuadro 1.

Table 1. Example of X^2 calculation to test the hypothesis that forage plants were consumed by bighorn sheep (*Ovis canadensis mexicana*) in proportion to their availability.

Cuadro 1. Ejemplo del cálculo de X^2 para probar la hipótesis de que las plantas forrajeras fueron consumidas por el borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*) en proporción con su disponibilidad.

Forage species / Especie forrajera	Field frequency / Frecuencia en campo	Observed usage (O_i) / Uso observado (O_i)	Relative proportion in the field / Proporción relativa en campo	Expected usage / Uso esperado (E_i)	$(O_i - E_i)^2/E_i$
<i>Acacia willardiana</i>	56	311	0.021	21.98	3801.1
<i>Allionia incarnata</i>	19	21	0.007	7.46	24.6
<i>Bursera microphylla</i>	104	41	0.038	40.81	0.00085
<i>Cardiospermum corindum</i>	107	28	0.039	41.99	4.7
<i>Carnegiea giganteae</i>	19	32	0.007	7.46	80.8
.
.
.
<i>Trixis californica</i>	67	1	0.025	26.29	24.3
Total	2724	1069			$X^2 = 4359.9$

O_i = frequency of forage species in the botanical composition of the diet, E_i = relative proportion in the field multiplied by the total number of observations of O_i . The X^2 of tables ($\alpha = 0.05$) was equal to 32.67.

O_i = frecuencia de las especies forrajeras en la composición botánica de la dieta; E_i = multiplicación de la proporción relativa en campo por el total de observaciones de O_i . La X^2 de tablas ($\alpha = 0.05$) fue igual a 32.67.

Furthermore, the Ivlev index (E_i) was calculated to identify forage selection using the following equation:

$$E_i = \frac{(r_i - p_i)}{(r_i + p_i)}$$

where r_i is the proportion of use/consumption of botanical species i in the botanical composition of the diet and p_i is the proportion of the botanical species i available in the vegetation. E_i values were classified according to Stuth (1991): >0.35 (selected botanical species), -0.35 a 0.35 (proportional to its availability) and <-1.0 (rejected botanical species). Species with a proportion of less than 2% in the diet were excluded from the analysis.

Results and discussion

The number of plants consumed by white-tailed deer, mule deer, bighorn sheep and cattle were 39, 44, 48 and 41, respectively (Peralta-Pardo, 2020). However, for the selectivity analysis, only 20, 18, 21 and 19 species were considered, along with 12, 10, 13 and 7 plant species consumed by the four ungulate species based on the Bonferroni and Ivlev exclusion criteria, respectively. The four ungulated species consumed mostly *Simmondsia chinensis*, although *Jatropha cinerea* had the highest frequency in the plots. Considering both forage selection parameters, the use and selection of the tree species *Olneya tesota*, *Mariosousa heterophylla*, *Bursera microphylla* and *Bursera laxiflora*, by at least two of the ungulate species studied were identified (Table 2).

Con los intervalos de Bonferroni, el forraje se clasificó en tres categorías: 1) seleccionado, cuando la proporción relativa de disponibilidad (P_{io}) fue menor al límite inferior, 2) uso proporcional de acuerdo con su disponibilidad, cuando P_{io} estuvo dentro del intervalo de confianza, y 3) rechazado, cuando P_{io} fue mayor al límite superior. Las especies vegetales que no presentaron un uso esperado ($e_i \geq 5$) fueron excluidas del análisis (Byers et al., 1984).

Adicionalmente, se calculó el índice de Ivlev (E_i) para identificar la selección forrajera mediante la siguiente ecuación:

$$E_i = \frac{(r_i - p_i)}{(r_i + p_i)}$$

donde r_i es la proporción de uso/consumo de la especie botánica i en la composición botánica de la dieta y p_i es la proporción de la especie botánica i disponible en la vegetación. Los valores de E_i se clasificaron de acuerdo con Stuth (1991): >0.35 (especie botánica seleccionada), -0.35 a 0.35 (proporcional de acuerdo con su disponibilidad) y <-1.0 (especie botánica rechazada). Del análisis se excluyeron las especies que tuvieron una proporción menor a 2 % en la dieta.

Resultados y discusión

El número de plantas consumidas por el venado cola blanca, venado bura, borrego cimarrón y ganado bovino fue de 39, 44, 48 y 41, respectivamente (Peralta-Pardo,

Table 2. Type of use of tree and herbaceous species consumed by white-tailed deer (WTD; *Odocoileus virginianus*), mule deer (MD; *Odocoileus hemionus*), bighorn sheep (BS; *Ovis canadensis mexicana*) and cattle (C; *Bos taurus*).

Cuadro 2. Tipo de uso de las especies arbóreas y herbáceas consumidas por el venado cola blanca (VCB; *Odocoileus virginianus*), el venado bura (VB; *Odocoileus hemionus*), el borrego cimarrón (BC; *Ovis canadensis mexicana*) y el ganado bovino (GB; *Bos taurus*).

Especie forrajera / Forage species	WTD/VCB		MD/VB		BS/BC		C/GB	
	IB	IV	IB	IV	IB	IV	IB	IV
Árboles / Trees								
<i>Olneya tesota</i>	P	S	S	S	S	S	S	S
<i>Cercidium microphyllum</i>	S	S	R	P	P	P	P	P
<i>Mariosousa heterophylla</i>	S	S	-	-	S	S	-	-
<i>Bursera microphylla</i>	R	R	S	S	P	P	P	-
<i>Bursera laxiflora</i>	-	-	-	S	-	S	-	-
<i>Mimosa laxiflora</i>	-	-	-	-	R	-	-	-
Hierbas / Herbs								
<i>Cardiospermum corindum</i>	R	R	S	S	P	P	-	-
<i>Passiflora quercetorum</i>	-	S	-	-	-	-	-	-
<i>Senna covesii</i>	-	-	P	-	P	P	-	-
<i>Allionia incarnata</i>	-	-	-	-	P	-	-	-
<i>Boerhavia coulteri</i>	P	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ditaxis lanceolata</i>	R	R	R	-	-	-	R	-
<i>Euphorbia eriantha</i>	-	-	-	-	P	-	-	-
<i>Trixis californica</i>	-	-	P	-	R	-	R	-
<i>Encelia farinosa</i>	-	-	-	-	-	-	R	-
<i>Euphorbia hyssopifolia</i>	R	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tidestromia lanuginosa</i>	-	-	-	-	R	-	-	-

IB = type of use according to Bonferroni intervals; IV = type of use according to Ivlev index; S = selected; P = usage according to their availability; R = rejected.

IB = tipo de uso de acuerdo con los intervalos de Bonferroni; IV = tipo de uso de acuerdo con el índice de Ivlev; S = seleccionado; P = usado de acuerdo con su disponibilidad; R = rechazado.

Among the selected shrub species, *S. chinensis* stands out, being preferred by all four ungulate species, and the succulent *Carnegiea gigantea*, selected by three herbivore species (Table 3). This marked forage selection for certain plant species endangers the coexistence of herbivore populations by increasing competition and threatening the long-term survival and maintenance of the selected plants. Bailey et al. (1996) suggest that forage selection may be due to animals preferring to forage in areas where they can get more nutrients and avoiding areas with lower quality or difficult to forage access.

In this regard, it is important to conduct a long-term nutritional assessment of the plants consumed by ungulates in the study area. In addition, the use of mineral and protein supplements (Bautista-de Luna et al., 2022) should be considered to help mitigate forage competition. Actions should also be implemented to promote the natural coexistence of herbivores and ensure the sufficient and adequate presence of key plant species. In this context, Saucedo-Uuh et al. (2022) propose establishing forage restriction areas

2020). Sin embargo, para el análisis de selectividad, únicamente se consideraron 20, 18, 21 y 19, así como 12, 10, 13 y 7 especies de plantas consumidas por las cuatro especies de ungulados con base en los criterios de exclusión de Bonferroni e Ivlev, respectivamente. La especie vegetal más consumida por los cuatro ungulados fue *Simmondsia chinensis*, mientras que *Jatropha cinerea* fue la de mayor frecuencia en las parcelas. Al considerar los dos parámetros de selección forrajera, se identificó el uso y la selección de las especies arbóreas *Olneya tesota*, *Mariosousa heterophylla*, *Bursera microphylla* y *Bursera laxiflora* por al menos dos de las especies de ungulados estudiadas (Cuadro 2).

Entre las especies arbustivas seleccionadas destaca *S. chinensis*, preferida por las cuatro especies de ungulados, y la suculenta *Carnegiea gigantea*, seleccionada por tres especies de herbívoros (Cuadro 3). Esta selección forrajera marcada por algunas especies vegetales pone en riesgo la coexistencia de las poblaciones de herbívoros, al aumentar la competencia y amenazar la supervivencia y mantenimiento a largo plazo de las plantas seleccionadas. Bailey et al. (1996) señalan que la selección forrajera se

Table 3. Type of use of shrub and succulent species consumed by white-tailed deer (WTD; *Odocoileus virginianus*), mule deer (MD; *Odocoileus hemionus*), bighorn sheep (BS; *Ovis canadensis mexicana*) and cattle (C; *Bos taurus*).

Cuadro 3. Tipo de uso de las especies arbustivas y suculentas consumidas por el venado cola blanca (VCB; *Odocoileus virginianus*), el venado bura (VB; *Odocoileus hemionus*), el borrego cimarrón (BC; *Ovis canadensis mexicana*) y el ganado bovino (GB; *Bos taurus*).

Especie forrajera / Forage species	WTD/VCB		MD/VB		BS/BC		C/GB	
	IB	IV	IB	IV	IB	IV	IB	IV
----- Shrubs / Arbustos -----								
<i>Simmondsia chinensis</i>	S	S	S	S	-	S	S	S
<i>Hibiscus denudatus</i>	R	R	R	-	P	P	S	P
<i>Fouquieria splendens</i>	R		-		S	P	-	-
<i>Abutilon incanum</i>	-	-	-	-	-	-	S	-
<i>Solanum hindsonianum</i>	R	P	-	-	-	-	-	-
<i>Krameria erecta</i>	-	-	P	P	-	-	-	-
<i>Lippia palmeri</i>	-	-	R	-	-	-	-	-
<i>Jatropha cinerea</i>	R	R	R	-	R	R	R	-
<i>Jatropha cuneata</i>	R	-	R	-	-	-	R	-
<i>Ambrosia dumosa</i>	-	-	R	-	-	-	R	-
<i>Cordia parviflora</i>	-	-	R	-	-	-	R	-
<i>Croton sonorae</i>	-	-	-	-	R	-	R	-
<i>Melochia tomentosa</i>	R	-	-	-	R	-	P	-
<i>Lycium berlandieri</i>	-	-	-	-	P	-	-	-
<i>Colubrina viridis</i>	R	-	R	-	R	-	R	-
<i>Larrea tridentata</i>	-	-	R	-	-	-	R	-
----- Succulent / Suculentas -----								
<i>Carnegiea gigantea</i>	R	-	S	S	S	S	S	S
<i>Stenocereus thurberi</i>	S	-	-	S	-	-	-	S
<i>Pachycereus pringlei</i>	R	-	-	-	S	P	-	-
<i>Cylindropuntia fulgida</i>	P	P	P	P	-	-	S	S

IB = type of use according to Bonferroni intervals; IV = type of use according to Ivlev index; S = selected; P = usage according to availability; R = rejected.

IB = tipo de uso de acuerdo con los intervalos de Bonferroni; IV = tipo de uso de acuerdo con el índice de Ivlev; S = seleccionado; P = usado de acuerdo con su disponibilidad; R = rechazado.

(exclosures) in overgrazed zones, monitoring ungulate diet composition, respecting animal carrying capacity and strategically managing competing species.

The Bonferroni interval exclusion rule allowed for the analysis of 35 plant species consumed by the four ungulate species. The ungulates selected between 20 and 31 % of the species, used between 15 and 38 % according to their availability, and rejected 38 to 65 % of the species. On the other hand, 19 species were analyzed with the Ivlev index. Among these, ungulates selected between 33.4 and 71.4 %, used between 25 and 53.8 % according to their availability, and rejected between 7.7 and 41.6 % of forage species.

Ungulate species inhabiting desert and semi-desert areas, such as mule deer and bighorn sheep, are considered opportunistic due to the high variability in their diet composition and plant species selection,

puede deber a que los animales prefieren forrajear en áreas donde obtienen más nutrientes, y evitan sitios con forraje de menor calidad o de difícil acceso.

En ese sentido, resulta importante realizar un diagnóstico nutricional a largo plazo de las plantas consumidas por los ungulados en la zona de estudio. Además, se debe contemplar el uso de suplementos minerales y proteicos (Bautista-de Luna et al., 2022) para contribuir a mitigar la competencia forrajera. También se deben implementar acciones que promuevan la coexistencia natural de los herbívoros y aseguren la presencia adecuada y suficiente de las especies vegetales clave. Al respecto, Saucedo-Uuh et al. (2022) proponen establecer áreas de restricción forrajera (exclusiones) en zonas de sobrepastoreo, monitorear la composición de la dieta de los ungulados, respetar la capacidad de carga animal y manejar estratégicamente las especies en competencia.

adapting to plant availability and nutrient content (Alcala-Galvan & Krausman, 2012; Guerrero-Cárdenas et al., 2018; Krausman et al., 1997; Olivas-Sánchez et al., 2015; Tarango et al., 2002; Wagner & Peek, 2006). Although the white-tailed deer is considered a selective herbivore, the composition of its diet and its preference for plant species varies depending on the environment in which it lives (Ramírez-Lozano, 2004).

Granados et al. (2014) mention that white-tailed deer in Campeche, Mexico, base their diet on shrub species and increase the consumption of herbaceous plants during the rainy season. Aguilera-Reyes et al. (2013) also observed higher herbaceous consumption during this season. However, Vásquez et al. (2016) found no differences in plant consumption between seasons, but they reported that the diet was concentrated on 15.6% of the available species, indicating a preference for certain plants. The limited precipitation characteristic of arid and semi-arid zones reduces the production and availability of herbaceous plants (Arnold & Drawe, 1979; Dye et al., 2016); therefore, they become a key resource during the rainy season (Alcala-Galvan & Krausman, 2012; Marshal et al., 2012). Plant selection by ungulates is influenced by several factors beyond availability. Contreras-Moreno et al. (2015) noted that cattle presence affected the foraging patterns of white-tailed deer; when cattle were removed from pastures, deer began utilizing them.

In the present study, white-tailed deer rejected most herbaceous species (Table 2), contrary to previous research results (Holechek, 1984; Ramírez-Lozano, 2004). In contrast, mule deer and bighorn sheep mainly rejected shrub species and preferred tree species (Tables 2 and 3). Meanwhile, cattle primarily selected succulents and shrubs (Table 3), in contrast to what has been observed in other studies where grasses and herbaceous species predominate in their diet (Holechek, 1984; Lyons & Stuth, 2007; Sprinkle et al., 2015). These outcomes are related to the precipitation recorded during July-September 2022, which directly affects forage availability and varies from year to year depending on the amount and distribution of rain.

Woody species (trees and shrubs) exhibit consistent foliage production throughout the year, maintaining stable nutrient content across seasons (Bautista-de Luna et al., 20-22; Holechek, 1984; Memmott et al., 2011). In contrast, deciduous and herbaceous species increase their nutrient concentration in the wet season but decrease it during the dry season (Holechek, 1984; Ramírez-Lozano, 2004). These nutrient variations are associated with the selective patterns of ungulates in UMA Rancho Noche Buena. Phosphorus (P) and crude protein (CP) are essential nutrients for the growth, development, maintenance, reproduction and health of herbivores (Cienfuegos-Rivas et al., 2015; National

La regla de exclusión de los intervalos de Bonferroni permitió analizar 35 especies vegetales consumidas por las cuatro especies de ungulados. Los ungulados seleccionaron entre 20 y 31 % de las especies, utilizaron entre el 15 y 38 % de acuerdo con su disponibilidad, y rechazaron del 38 al 65 % de las especies. Por otro lado, con el índice de Ivlev se analizaron 19 especies, de las cuales los ungulados seleccionaron entre 33.4 y 71.4 %, utilizaron entre 25 y 53.8 % de acuerdo con su disponibilidad, y rechazaron entre 7.7 y 41.6 % de especies forrajeras.

Las especies de ungulados que habitan zonas desérticas y semidesérticas, como el venado bura y el borrego cimarrón, se consideran oportunistas debido a la alta variabilidad en la composición de su dieta y en la selección de especies vegetales, al adaptarse a la disponibilidad vegetal y su contenido nutrimental (Alcala-Galvan & Krausman, 2012; Guerrero-Cárdenas et al., 2018; Krausman et al., 1997; Olivas-Sánchez et al., 2015; Tarango et al., 2002; Wagner & Peek, 2006). Aunque al venado cola blanca se le considera un herbívoro selectivo, la composición de su dieta y su preferencia hacia especies vegetales varían dependiendo del entorno en el que este se desarrolla (Ramírez-Lozano, 2004).

Granados et al. (2014) mencionan que el venado cola blanca en Campeche, México, basa su dieta en especies arbustivas, e incrementa el consumo de herbáceas durante la temporada de lluvias. Aguilera-Reyes et al. (2013) también observaron un mayor consumo de herbáceas durante dicha época, aunque Vásquez et al. (2016) no encontraron diferencias en el consumo de plantas entre temporadas, pero si reportaron que la dieta se centró en el 15.6 % de las especies disponibles, lo cual indica una selección por ciertas plantas. La limitada precipitación característica de las zonas áridas y semiáridas reduce la producción y disponibilidad de herbáceas (Arnold & Drawe, 1979; Dye et al., 2016); por ello, estas se convierten en un recurso clave durante la temporada húmeda (Alcala-Galvan & Krausman, 2012; Marshal et al., 2012). La selección de plantas por ungulados está relacionada con diversos factores, además de su disponibilidad. Contreras-Moreno et al. (2015) señalan que la presencia de ganado afectó los patrones de forrajeo del venado cola blanca, cuando el ganado se retiró de los potreros, el venado hizo uso de ellos.

En el presente estudio, el venado cola blanca rechazó la mayoría de las especies de herbáceas (Cuadro 2), contrario a lo reportado en investigaciones previas (Holechek, 1984; Ramírez-Lozano, 2004). En cambio, el venado bura y el borrego cimarrón rechazaron principalmente las especies arbustivas y prefiriendo especies arbóreas (Cuadros 2 y 3). Por su parte, el ganado bovino seleccionó principalmente succulentas y arbustivas (Cuadro 3), a diferencia de lo observado en otros estudios donde predominan las gramíneas y

Research Council [NRC], 2007; Smolko et al., 2022; Vandeloecht et al., 2022). Bautista-de Luna et al. (2022) found that selected woody and herbaceous species contained intermediate P and CP concentrations, while some rejected species exhibit high levels. This discrepancy may be explained by interannual nutritional variation or the presence of secondary metabolites (Bester et al., 2023; Xin et al., 2012).

As for the selected succulents, they show low P and CP contents but serve as an important water source, making them essential during droughts (Cain et al., 2006; Nefzaoui et al., 2014; Tarango et al., 2002). Seasonal precipitation and temperature are related to food selection as they influence the nutritional properties of plants or provide complementary water sources (Cain et al., 2017; Gedir et al., 2016; Glass et al., 2022; Selebatso et al., 2018; Sprinkle et al., 2015). It is important to note that CP and P concentrations are not the only plant nutritional attributes that explain the observed selection patterns.

Most of the herbivore species at Rancho Noche Buena did not consume forage species according to their availability. Therefore, the selection or rejection of certain forage species can be explained by other factors or their interaction, along with the combined effect of required nutrients (Ceacero et al., 2015; Estevez et al., 2010) or the interaction between nutrients and secondary metabolites (Villalba et al., 2002). Animals may even self-select secondary metabolites due to their multiple properties (Amit et al., 2013; Beaulieu et al., 2014; Copani et al., 2013; Juhnke et al., 2012; Singer et al., 2009; Villalba et al., 2010).

The fiber content of plants is another crucial aspect, as it prevents metabolic disorders, enhances digestibility and maintains optimal rumen content (Van Soest et al., 1991). In addition, external factors, such as the presence of predators also influence foraging behavior, forcing herbivores to restrict their feeding to safer areas and diversify their diet (Catano et al., 2014; Hernández & Laundré, 2005; McArthur et al., 2012; Nersesian et al., 2011).

Conclusions

Not all forage species at Rancho Noche Buena were consumed by white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*), mule deer (*O. hemionus*), bighorn sheep (*Ovis canadensis mexicana*) and cattle (*Bos taurus*); in fact, these species predominantly selected only two: *Olneya tesota* and *Simmondsia chinensis*. These outcomes were consistent with Bonferroni intervals and Ivlev's index, which revealed a significant selection of arboreal and succulent species, while the consumption of herbaceous differed according to ungulate species.

herbáceas en su dieta (Holechek, 1984; Lyons & Stuth, 2007; Sprinkle et al., 2015). Estos resultados están relacionados con la precipitación registrada durante julio-septiembre de 2022, la cual influye directamente en la disponibilidad de forraje y varía de un año a otro según la cantidad y distribución de la lluvia.

Las especies leñosas (árboles y arbustos) presentan una producción constante de follaje durante el año, lo cual mantiene estable su contenido nutrimental entre estaciones (Bautista-de Luna et al., 2022; Holechek, 1984; Memmott et al., 2011). En contraste, las especies de hoja caduca y herbáceas incrementan su concentración de nutrientes en la temporada húmeda, pero disminuyen en la temporada seca (Holechek, 1984; Ramírez-Lozano, 2004). Estas variaciones nutricionales se relacionan con los patrones selectivos de los ungulados en la UMA Rancho Noche Buena. El fósforo (P) y la proteína cruda (PC) son nutrientes importantes para el crecimiento, desarrollo, mantenimiento, reproducción y salud de los herbívoros (Cienfuegos-Rivas et al., 2015; National Research Council [NRC], 2007; Smolko et al., 2022; Vandeloecht et al., 2022). Bautista-de Luna et al. (2022) determinaron que las especies leñosas y herbáceas seleccionadas poseían concentraciones medias de P y PC, mientras que algunas especies rechazadas presentaban niveles altos, lo cual se podría explicar por variaciones nutricionales interanuales o por la presencia de metabolitos secundarios (Bester et al., 2023; Xin et al., 2012).

En cuanto a las suculentas seleccionadas, estas mostraron bajos niveles de P y PC, pero son una fuente importante de agua, lo cual las hace esenciales durante periodos de sequía (Cain et al., 2006; Nefzaoui et al., 2014; Tarango et al., 2002). La precipitación y temperatura estacionales están relacionadas con la selección del alimento al influir en las propiedades nutricionales de las plantas o proporcionar fuentes complementarias de agua (Cain et al., 2017; Gedir et al., 2016; Glass et al., 2022; Selebatso et al., 2018; Sprinkle et al., 2015). Es importante destacar que las concentraciones de PC y P no son las únicas cualidades nutricionales presentes en las plantas que explican los patrones de selección observados.

La mayoría de las especies de herbívoros del Rancho Noche Buena no consumieron las especies forrajeras de acuerdo con su disponibilidad. Por lo tanto, la selección o rechazo de ciertas especies forrajeras se puede explicar por otros factores o su interacción, más el efecto combinado de los nutrientes requeridos (Ceacero et al., 2015; Estevez et al., 2010) o de la interacción entre nutrientes y metabolitos secundarios (Villalba et al., 2002). Los animales podrían, incluso, autoseleccionar metabolitos secundarios dadas sus múltiples propiedades (Amit et al., 2013; Beaulieu et

According to the Bonferroni intervals, ungulates selected between 20 and 31.6 % of the available plants, while with the Ivlev index, selection ranged between 33.3 and 71.43 %. In contrast, rejection values were higher, ranging from 38.1 to 65.0 % according to Bonferroni and from 7.7 to 41.7 % based on Ivlev's index.

Ungulates consumed a reduced percentage of forage species in proportion to their availability, demonstrating selective feeding behavior. Among the four ungulate species, cattle were the most selective, with a higher number of species classified as rejected and selected.

The information obtained identifies the most relevant plant species for ungulates in the UMA Rancho Noche Buena. The selection of *Simmondsia chinensis* and *Olneya tesota* by all four ungulate species have important implications for habitat management and conservation. Overuse of these plants could lead to ecosystem degradation and increased competition among ungulates. Therefore, it is recommended to implement management strategies, such as forage exclusion areas or nutritional supplementation to reduce pressure on these key species and ensure ecosystem sustainability.

End of English version

References / Referencias

- Aguilera-Reyes, U., Sánchez-Cordero, V., Ramírez-Pulido, J., Monroy-Vilchis, O., García López, G. I., & Janczur, M. (2013). Hábitos alimentarios del venado cola blanca *Odocoileus virginianus* (Artiodactyla: Cervidae) en el Parque Natural Sierra Nanchititla, Estado de México. *Revista de Biología Tropical*, 61(1), 243-253. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442013000100019
- Alcala-Galvan, C. H., & Krausman, P. R. (2012). Diets of desert mule deer in altered habitats in the lower Sonoran Desert. *California Fish and Game*, 98(2), 81-103. https://www.originalwisdom.com/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2019/03/Alcala-Galvan-and-Krausman_2012_diets-of-mule-deer.pdf
- Amit, M., Cohen, I., Marcovics, A., Muklada, H., Glasser, T. A., Ungar, E. D., & Landau, S. Y. (2013). Self-medication with tannin-rich browse in goats infected with gastro-intestinal nematodes. *Veterinary Parasitology*, 198(3-4), 305-311. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.09.019>
- Arnold, L. A., & Drawe, D. L. (1979). Seasonal food habits of white-tailed deer in the south Texas plains. *Journal of Range Management Archives*, 32(3), 175-178. <https://doi.org/10.2307/3897116>
- Avendaño-Carmona, E., & Hernández-Ramírez, A. (2018). Cacería deportiva: ¿Cultura, desarrollo o conservación?. *Cuadernos de Biodiversidad*, 54, 1-8. <https://doi.org/10.14198/cdbio.2018.54.01>
- al., 2014; Copani et al., 2013; Juhnke et al., 2012; Singer et al., 2009; Villalba et al., 2010).
- El contenido de fibra en las plantas es otro aspecto crucial, ya que evita trastornos metabólicos, favorece la digestibilidad y mantiene en buen estado el contenido ruminal (Van Soest et al., 1991). Además, factores externos, como la presencia de depredadores, también influyen en el comportamiento de forrajeo, al obligar a los herbívoros a restringir su alimentación a zonas más seguras y diversificar su dieta (Catano et al., 2014; Hernández & Laundré, 2005; McArthur et al., 2012; Nersesian et al., 2011).

Conclusiones

No todas las especies forrajeras del Rancho Noche Buena fueron consumidas por el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el venado bura (*O. hemionus*), el borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*) y el ganado bovino (*Bos taurus*); de hecho, estas especies seleccionaron predominantemente solo dos: *Olneya tesota* y *Simmondsia chinensis*. Estos resultados fueron consistentes con los intervalos de Bonferroni y con el índice de Ivlev, los cuales revelaron una selección significativa de especies arbóreas y suculentas, mientras que el consumo de herbáceas varió según la especie de ungulado.

De acuerdo con los intervalos de Bonferroni, los ungulados seleccionaron entre el 20 y 31.6 % de las plantas disponibles, mientras que con el índice de Ivlev, la selección osciló entre 33.3 y 71.43 %. Por el contrario, los valores de rechazo fueron más altos, con un rango de 38.1 a 65.0 % según Bonferroni y de 7.7 a 41.7 % según el índice de Ivlev.

Los ungulados consumieron un porcentaje reducido de especies forrajeras en proporción a su disponibilidad, con lo cual demostraron un comportamiento alimenticio selectivo. Entre las cuatro especies de ungulados, el ganado bovino fue el más selectivo, con un mayor número de especies clasificadas, como rechazadas y seleccionadas.

La información obtenida permite identificar las especies vegetales de mayor relevancia para los ungulados en la UMA Rancho Noche Buena. La selección de *Simmondsia chinensis* y *Olneya tesota* por las cuatro especies de ungulados tiene implicaciones importantes para el manejo y la conservación de sus hábitats. El sobreuso de estas plantas podría provocar la degradación del ecosistema y un incremento en la competencia entre los ungulados. Por ello, se recomienda implementar estrategias de manejo, como áreas de exclusión forrajera o la suplementación nutricional, para reducir la presión sobre estas especies clave y garantizar la sostenibilidad del ecosistema.

Fin de la versión en español

- Bailey, D. W., Gross, J. E., Laca, E. A., Rittenhouse, L. R., Coughenour, M. B., Swift, D. M., & Sims, P. L. (1996). Mechanisms that result in large herbivore grazing distribution patterns. *Journal of Range Management*, 49(5), 386-400. <https://doi.org/10.2307/4002919>
- Bautista-de Luna, M. S., Tarango-Arámula, L. A., Mendoza-Martínez, G., Oropeza, G. O., Martínez-Montoya, J. F., Ugalde-Lezama, S., & Lánderos-Sánchez, C. (2022). Requerimientos y balance nutricional de fósforo y proteína cruda en plantas preferidas por el borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 21(1), 3-12. <https://doi.org/10.5154/r.rchsa.2021.21.1>
- Beaulieu, M., Haas, A., & Schaefer, H. M. (2014). Self-supplementation and effects of dietary antioxidants during acute thermal stress. *Journal of Experimental Biology*, 217(3), 370-375. <https://doi.org/10.1242/jeb.092825>
- Bester, T., Schmitt, M. H., & Shrader, A. M. (2023). The deterrent effects of individual monoterpene odours on the dietary decisions of African elephants. *Animal Cognition*, 26, 1049-1063. <https://doi.org/10.1007/s10071-023-01755-4>
- Briones, O., Búrquez, A., Martínez-Yrizar, A., Pavón, N., & Perroni, Y. (2018). Biomasa y productividad en las zonas áridas mexicanas. *Madera y Bosques*, 24, 1-19. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401898>
- Byers, C., Steinhorst, R., & Krausman, P. (1984). Clarification of a technique for analysis of utilization-availability data. *The Journal of Wildlife Management*, 48(3), 1050-1053. <https://doi.org/10.2307/3801467>
- Cain, J. W., Krausman, P. R., Rosenstock, S. S., & Turner, J. C. (2006). Mechanisms of thermoregulation and water balance in desert ungulates. *Wildlife Society Bulletin*, 34(3), 570-581. [https://doi.org/10.2193/0091-7648\(2006\)34\[570:MOTAWB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0091-7648(2006)34[570:MOTAWB]2.0.CO;2)
- Cain, J. W., Gedir, J. V., Marshal, J. P., Krausman, P. R., Allen, J. D., Duff, G. C., Jansen, B., & Morgart, J. R. (2017). Extreme precipitation variability, forage quality and large herbivore diet selection in arid environments. *Oikos*, 126(10), 1459-1471. <https://doi.org/10.1111/oik.04282>
- Catano, L. B., Shantz, A. A., & Burkepille, D. E. (2014). Predation risk, competition, and territorial damselfishes as drivers of herbivore foraging on Caribbean coral reefs. *Marine Ecology Progress Series*, 511, 193-207. <https://doi.org/10.3354/meps10921>
- Ceacero, F., Landete-Castillejos, T., Olguín, A., Miranda, M., García, A., Martínez, A., Cassinello, J., & Gallego, L. (2015). Avoiding toxic levels of essential minerals: a forgotten factor in deer diet preferences. *PLoS One*, 10(1), e0115814. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115814>
- Cienfuegos-Rivas, E. G., Cantú-Medina, F. G., González-Reyna, A., Castillo-Rodríguez, S. P., & Martínez-González, J. C. (2015). Composición mineral de astas de venado cola blanca texano (*Odocoileus virginianus texanus*) en el noreste de México. *Zootecnia Tropical*, 33(3), 255-260. <http://www.publicaciones.inia.gob.ve/index.php/zootecniatropical/article/view/196>
- Contreras-Moreno, F. M., Zúñiga-Sánchez, S., & Bello-Gutiérrez, J. (2015). Preferencia de hábitat de *Odocoileus virginianus thomasi* Merriam en dos ejidos ganaderos del sureste de México. *Agro Productividad*, 8(3), 49-55. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/683>
- Copani, G., Hall, J. O., Miller, J., Priolo, A., & Villalba, J. J. (2013). Plant secondary compounds as complementary resources: are they always complementary? *Oecologia*, 172, 1041-1049. <https://doi.org/10.1007/s00442-012-2551-1>
- Domenge-Muñoz, R., & Pérez-Gómez, M. (2019). Modelo de evaluación de estrategias de conservación y aprovechamiento en una reserva de turismo cinegético en México. *Journal of Management & Business Studies*, 1(2), 65-89. <https://doi.org/10.32457/jmabs.v1i2.299>
- Dye, D. G., Middleton, B. R., Vogel, J. M., Wu, Z., & Velasco, M. (2016). Exploiting differential vegetation phenology for satellite-based mapping of semiarid grass vegetation in the Southwestern United States and Northern Mexico. *Remote Sensing*, 8(11), 889. <https://doi.org/10.3390/rs8110889>
- Estevez, J. A., Landete-Castillejos, T., García, A. J., Ceacero, F., Martínez, A., Gaspar-López, E., Calatayud, A., & Gallego, L. (2010). Seasonal variations in plant mineral content and free-choice minerals consumed by deer. *Animal Production Science*, 50(3), 177-185. <https://doi.org/10.1071/AN09012>
- García, E. (1998). 'Climas' (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Gedir, J. V., Cain, J. W., Krausman, P. R., Allen, J. D., Duff, G. C., & 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), e0148795. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148795>
- Glass, D. M., Prentice, P. R., Evans, A. D., & Schmitz, O. J. (2022). Local differences in maximum temperature determine water use among desert bighorn sheep populations. *The Journal of Wildlife Management*, 86(8), e22313. <https://doi.org/10.1002/jwmg.22313>
- González-Enbarcadero, A., & Améndola, M. R. (2010). *Técnica microhistológica para la determinación de la composición botánica de la dieta de herbívoros*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Granados, D., Tarango, L., Olmos, G., Palacios, P., Clemente, F., & Mendoza, G. (2014). Dieta y disponibilidad de forraje del venado cola blanca *Odocoileus virginianus thomasi* (Artiodactyla: Cervidae) en un campo experimental de Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*, 62(2), 699-710. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44931383024>
- Guajardo-Quiroga, R. G., & Martínez-Muñoz, A. (2004). Cuantificación del impacto económico de la caza deportiva en el norte de México y perspectivas de desarrollo. *Entorno Económico*, 42(250), 1-17. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/8690>
- Guerrero-Cárdenas, I., Álvarez-Cárdenas, S., Gallina, S., Corcuera, P., Ramírez-Orduña, R., & 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>
- Hernández, L., & Landré, J. W. (2005). Foraging in the 'landscape of fear' and its implications for habitat use and diet quality of elk *Cervus elaphus* and bison *Bison bison*. *Wildlife Biology*, 11(3), 215-220. [https://doi.org/10.2981/0909-6396\(2005\)11\[215:FITLOF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2981/0909-6396(2005)11[215:FITLOF]2.0.CO;2)
- Holechek, J. L. (1984). Comparative contribution of grasses, forbs, and shrubs to the nutrition of range ungulates. *Rangelands*, 6(6), 261-263. <http://hdl.handle.net/10150/638545>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía y Estadística (INEGI). (2019). *Carta del uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 serie VI*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/temas/ususuelo/>
- Juhnke, J., Miller, J., Hall, J. O., Provenza, F. D., & Villalba, J. J. (2012). Preference for condensed tannins by sheep in response to challenge infection with *Haemonchus contortus*. *Veterinary Parasitology*, 188(1-2), 104-114. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.02.015>
- Krausman, P. R., Kuenzi, A. J., Etchberger, R. C., Rautenstrauch, K. R., Ordway, L. L., & Hervert, J. J. (1997). Diets of desert mule deer. *Journal of Range Management*, 50(5), 513-522. <https://doi.org/10.2307/4003707>
- López-Saavedra, E. E., Lee, R. M., de Vos, J. C., Schweinsburg, R. E., & Luna-Salazar, G. (1999). Relación uso-disponibilidad de componentes topográficos y un modelo de calidad del hábitat para el borrego cimarrón en Sonora, México. *Acta Zoológica*, 76, 17-34. <https://azm.ojs.inacol.mx/index.php/azm/article/view/1697/1811>
- Lyons, R. K., & Stuth, J. W. (2007). Cattle, browse, and range health. *Rangelands*, 29(6), 8-11. [10.2111/1551-501X\(2007\)29\[8:CBARH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2111/1551-501X(2007)29[8:CBARH]2.0.CO;2)
- McArthur, C., Orlando, P., Banks, P. B., & Brown, J. S. (2012). The foraging tightrope between predation risk and plant toxins: a matter of concentration. *Functional Ecology*, 26(1), 74-83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2011.01930.x>
- Marshall, J. P., Bleich, V. C., Krausman, P. R., Reed, M. L., & Neibergs, A. (2012). Overlap in diet and habitat between the mule deer (*Odocoileus hemionus*) and feral ass (*Equus asinus*) in the Sonoran Desert. *The Southwestern Naturalist*, 57(1), 16-25. <https://doi.org/10.1894/0038-4909-57.1.16>
- Matteucci, S. D., & Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación* (pp. 26-25). Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.
- Mellado, M. (2016). Dietary selection by goats and the implications for range management in the Chihuahuan desert: A review. *The Rangeland Journal*, 38(4), 331-341. <https://doi.org/10.1071/RJ16002>
- Memmott, K. L., Anderson, V. J., & Fugal, R. (2011). Seasonal dynamics of forage shrub nutrients. *Rangelands*, 33(6), 12-16. <https://doi.org/10.2111/1551-501X-33.6.12>
- Nefzaoui, A., Louhaichi, M., & Ben Salem, H. (2014). Cactus as a tool to mitigate drought and to combat desertification. *Journal of Arid Land Studies*, 24(1), 121-124.
- Nersesian, C. L., Banks, P. B., & McArthur, C. (2011). Titrating the cost of plant toxins against predators: determining the tipping point for foraging herbivores. *Journal of Animal Ecology*, 80(4), 753-760. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2011.01822.x>
- National Research Council (NRC). (2007). *Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids and new world camelids*. The National Academies Press.
- Oliva-Sánchez, M. P., Vital-García, C., Flores-Márquez, J. P., Quiñonez-Martínez, M., & Clemente-Sánchez, F. (2015). Cambios estacionales en la dieta del venado bura (*Odocoileus hemionus* Crooki) en matorral desértico Chihuahuense. *Agro Productividad*, 8(6), 59-64. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/698>
- Peralta-Pardo, R. (2020). *Traslape de dieta en ungulados silvestres y domésticos en Sonora, México*. Colegio de Postgraduados.
- Ramírez-Lozano, R. G. (2004). *Nutrición del venado cola blanca*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Saucedo-Uuh, K., Peralta-Pardo, R., Cadena-Iñiguez, J., Tarango-Arámbula, L. A., Olmos-Oropeza, G., Clemente-Sánchez, F., & Serna-Lagunes, R. (2022). Modelo de manejo y conservación de flora endémica relacionada con dieta de ungulados silvestres. *Agro-Divulgación*, 2(4), 17-24. <https://agrodivulgacion-colpos.org/index.php/1agrodivulgacion1/article/view/86>
- Segundo-Galán, J. M., Torres-Romero, E. J., & Bender, L. C. (2024). Mapping core habitats, landscape permeability, and movement corridors for conservation of desert bighorn sheep in Sonora, México. *Therya*, 15(3), 279-288. <https://mastozoologiamexicana.com/therya/index.php/THERYA/article/view/6126>
- Selebatso, M., Maude, G., & Fynn, R. W. (2018). Adaptive foraging of sympatric ungulates in the Central Kalahari Game Reserve, Botswana. *African Journal of Wildlife Research*, 48(2), 1-12. <https://doi.org/10.3957/056.048.023005>
- Singer, M. S., Mace, K. C., & Bernays, E. A. (2009). Self-medication as adaptive plasticity: increased ingestion of plant toxins by parasitized caterpillars. *PLoS ONE*, 4(3), e4796. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004796>
- Smolko, P., Garaj, P., Lebocký, T., Bútorá, L., Pataky, T., Jaňáková, Z., Babic, M., Veselovská, A., Kubala, J., & Kropil, R. (2022). Soil nutrients and deer density affect antler size of the Carpathian red deer. *Mammalian Biology*, 102, 119-130. <https://doi.org/10.1007/s42991-021-00203-5>
- Sprinkle, J., Grumbles, R., & Meen, A. (2015). *Nutritional characteristics of Arizona browse* (pp. 1-11). Arizona Cooperative Extension.
- Stuth, J. W. (1991). Foraging behavior. In R. K. Heitschmidt & J. W. Stuth (Eds), *Grazing management. An ecological perspective* (pp. 65-83). Timber Press.
- Tarango, L. A., Krausman, P. R., Valdez, R., & Kattnig, R. M. (2002). Research observation: desert bighorn sheep diets in northwestern Sonora, Mexico. *Journal of Range Management Archives*, 55(6), 530-534. <https://doi.org/10.2307/4003995>
- Tarango-Arámbula, L. A. (2005). Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 4(2), 17-21. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545052003>

- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vandeloecht, B., Pierce, R. A., & Flinn, E. (2022). *Nutritional requirements of white-tailed deer in Missouri* (pp. 1-12). University of Missouri. Extension.
- Vásquez, Y., Tarango, L., López-Pérez, E., Herrera, J., Mendoza, G., & Mandujano, S. (2016). Variación de la composición de la dieta del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(1), 87-98. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.04.012>
- Villalba, J. J., Provenza, F. D., & Bryant, J. P. (2002). Consequences of the interaction between nutrients and plant secondary metabolites on herbivore selectivity: benefits or detriments for plants? *Oikos*, 97(2), 282-292. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.970214.x>
- Villalba, J. J., Provenza, F. D., Hall, J. O., & Lisonbee, L. D. (2010). Selection of tannins by sheep in response to gastrointestinal nematode infection. *Journal of Animal Science*, 88(6), 2189-2198. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2272>
- Wagner, G. D., & Peek, J. M. (2006). Bighorn sheep diet selection and forage quality in central Idaho. *Northwest Science*, 80(4), 246-258. https://objects.lib.uidaho.edu/twrs/Wagner_PeekNWSBighornDiet.pdf
- Xin, D., Gu, X., Shi, J., Yuan, F., Yin, B., Wang, A., Wei, W., & Yang, S. (2012). The seasonal changes of plant secondary metabolites and their influence on the food selection of plateau pika. *Acta Theriologica Sinica*, 32(4), 306-317.
- Yeates, J., & McGreevy, P. (2018). Ungulates (Ungulata). In Yeates, J. (Ed.), *Companion Animal Care and Welfare* (pp. 249-265). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119333708.ch12>