

# Uso y preferencias de hábitat por el berrendo sonorense (*Antilocapra americana sonoriensis*) en la Reserva de la Biósfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar

Habitat use and preferences by the Sonoran pronghorn (*Antilocapra americana sonoriensis*) in the El Pinacate y Gran Desierto de Altar Biosphere Reserve

Daniela Barajas-González<sup>1</sup> , Carlos Hugo Alcalá-Galván<sup>\*2</sup> , Juan Pablo Cordova-Castillo<sup>1</sup> , Iván Roberto Barreras-Gutiérrez<sup>1</sup> , Miguel Angel Grageda-García<sup>3</sup> , Alejandro Varela-Romero<sup>2</sup> , Reyna Amanda Castillo-Gamez<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Maestría en Biociencias, Universidad de Sonora, 83,000 Hermosillo, México.

<sup>2</sup> Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora, 83000 Hermosillo, México.

<sup>3</sup> Arizona Game and Fish Department, 85086 Phoenix, AZ, USA.

## ABSTRACT

The Sonoran pronghorn is considered a priority for conservation by various agreements at state, federal, and international levels. Information on the sites preferred by this pronghorn subspecies is required to determine the appropriate habitat units for management and conservation. The study was conducted at the El Pinacate y Gran Desierto de Altar Biosphere Reserve for an entire year. The fecal pellet group count was used to indicate pronghorn abundance, and sites and ecological characteristics related to pronghorn abundance were identified at various times of the year. Nine observation sites were established within the critical pronghorn distribution areas for collecting fecal samples each season. A total of 244 fecal groups were collected. DNA extraction was possible in 234 of the fecal groups, and using the Cytochrome b gene, we verified that 182 of the groups were Sonoran pronghorns, and the rest corresponded to mule deer. The observation sites were characterized by five plant associations and four types of associated soil; the abundance of fecal groups was determined for each site and each annual season. The highest abundances of pronghorn occurred in the *Larrea-Encelia*, *Larrea-Ambrosia*, and *Cylindropuntia-Krameria* plant associations. This study concluded that the pronghorn used plant associations differently from their availability.

**Keywords:** Antilocapridae; abundance; fecal groups; Northwest Mexico; plant associations.

## RESUMEN

El berrendo sonorense es una prioridad de conservación por acuerdos estatales, federales e internacionales. Para determinar las unidades de hábitat apropiadas para su manejo y conservación, se requiere información sobre los sitios preferidos por esta subspecie de berrendo. El estudio se realizó en la Reserva de la Biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar. El conteo de grupos fecales sirvió como indicador de la abundancia de berrendos y, se identificaron sitios y características ecológicas relacionadas con la abundancia de berrendos en varias épocas del año. Se reconocieron nueve sitios de observación en las áreas críticas de distribución del berrendo para

recolectar muestras fecales por temporada. Se recolectaron 244 grupos fecales, de los cuales en 234 fue posible extraer ADN. Utilizando el gen citocromo b, se verificó que 182 de los grupos fecales eran de berrendo, el resto correspondían a venado bura. Los sitios de observación se caracterizaron por cinco asociaciones de plantas y cuatro tipos de suelo asociados. Se determinó la abundancia de grupos fecales por sitio y estación anual. El berrendo prefirió las asociaciones de *Larrea-Encelia*, *Larrea-Ambrosia* y *Cylindropuntia-Krameria*. Se concluyó que el berrendo utilizó las asociaciones vegetales de manera diferente a su disponibilidad.

**Palabras clave:** Antilocapridae, abundancia, grupos fecales, Noroeste de México, asociaciones vegetales.

## INTRODUCCIÓN

El berrendo sonorense (*Antilocapra americana sonoriensis*) es una subspecie endémica del desierto Sonorense, que abarca regiones de México y Estados Unidos. Su estado de conservación es crítico, clasificado como en peligro de extinción tanto por la NOM-059-SEMARNAT-2010 en México (SEMARNAT, 2010) como por la Ley de Especies en Peligro de extinción (Endangered Species Act) en Estados Unidos (USFWS, 1998; 2016). Los principales factores responsables de la disminución de su población son la destrucción y fragmentación del hábitat, la cacería furtiva y el cambio climático, que afecta la disponibilidad de recursos hídricos y alimenticios (USFWS, 2016).

Históricamente, el berrendo sonorense ocupó vastas áreas del suroeste de Estados Unidos (sureste de California y suroeste de Arizona) y el noroeste de México (noreste de Baja California y oeste-noroeste de Sonora) (List y Valdez, 2009). Actualmente, el berrendo sonorense ocupa el 12 % de su distribución histórica, limitándose a aproximadamente 3,781 Km<sup>2</sup> en México y a 7,122 Km<sup>2</sup> en Estados Unidos. Esta distribución se encuentra restringida a cuatro poblaciones silvestres, dos dentro de Arizona (Kofa National Wildlife Refuge y Cabeza Prieta National Wildlife Refuge), y otras dos en Sonora, una en La Reserva de la Biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar (Reserva El Pinacate) y otra al sureste de la

\*Autores para correspondencia: Carlos Hugo Alcalá-Galván y Alejandro Varela-Romero

Correo-e: carlos.alcalal@unison.mx; alejandro.varela@unison.mx

Recibido: 1 de noviembre de 2025

Aceptado: 11 de agosto de 2025

Publicado: 03 de septiembre de 2025

Reserva El Pinacate, en la región conocida como Quitovac. De estas cuatro, la población de la Reserva El Pinacate es la que posee un menor número de individuos con un número estimado de 122 (USFWS, 2016). Dichas poblaciones ocupan actualmente un área desértica de extrema aridez, con altas temperaturas, escasez de agua y poco forraje (Hervert *et al.*, 2000). El berrendo sonoreño es una subespecie muy impactada por la actividad antropogénica, ocasionando disminución en sus áreas de ocupación y en sus poblaciones. Algunas de las amenazas que llevan al declive del berrendo sonoreño incluyen la caza furtiva, la fragmentación de hábitat por cercas, carreteras, caminos y canales, pastoreo de ganado y minería (USFWS, 2016).

La caracterización de preferencias de hábitat del berrendo sonoreño contribuye al reconocimiento de unidades ecológicas para el manejo con planes detallados para la conservación de los recursos que brindan el suelo, agua y vegetación como satisfactores de hábitat para esta subespecie. Los análisis de recursos asociados a la presencia y permanencia de los animales en los lugares que habita son tan importantes, como la evaluación de las características genéticas que las diferencian del resto de las subespecies (Stephen *et al.*, 2005; USFWS, 2016).

Debido al estatus de conservación de la subespecie sonoreña, se considera urgente la implementación de planes de manejo que garanticen la protección y fomento de sus poblaciones y hábitats. Para dichos planes es indispensable generar información específica *in situ* sobre condiciones y atributos de la vegetación asociados a la preferencia de sitios y recursos de la subespecie.

De las tres subespecies de berrendo que ocurren en México, el berrendo sonoreño y el berrendo peninsular (*A. a. peninsularis*) son considerados como berrendos asociados a matorrales xerófilos, mientras que el berrendo mexicano (*A. a. mexicana*) es considerado berrendo de pastizales (Colchero *et al.*, 2006; Conde *et al.*, 2006). Para el berrendo sonoreño se han realizado algunos estudios sobre el uso de hábitat en el suroeste de Arizona (Hughes, 1991; Hervert *et al.*, 2005; DeVos and Miller, 2005) y en el noroeste de Sonora (López-Saavedra y Paredes-Aguilar, 2000; Colchero *et al.*, 2006). Los tres estudios en Arizona se realizaron en la región central del área comprendida por el Refugio para Fauna Silvestre Cabeza Prieta (Cabeza Prieta National Wildlife Refuge) y el Parque Nacional Pitahaya (Organ Pipe Cactus National Monument). Hughes (1991) no distingue tipos de comunidades vegetales, solo reporta que las áreas ocupadas por el berrendo presentaron mayor cobertura, número de plantas y densidad de follaje en comparación con las áreas no preferidas. Hervert *et al.* (2005) diferenciaron el hábitat del berrendo en tres comunidades vegetales: 1) *Larrea-Ambrosia* (Gobernadora), 2) *Cercidium [Parkinsonia] spp* (Palo verde).-Cactos varios, y 3) *Cercidium [Parkinsonia] spp.-Cylindropuntia fulgida* (Choya saltona). Reportaron que el berrendo prefirió la comunidad de *Cercidium [Parkinsonia] spp.-Cylindropuntia fulgida*. En el estudio realizado por DeVos y Miller (2005), encontraron que el berrendo prefirió la comunidad de *Larrea-Ambrosia-*

*Cercidium [Parkinsonia] spp.*-Cactos varios.

Para el noroeste de Sonora, Colchero *et al.* (2006) consideraron el polígono de estudio comprendido entre Puerto Peñasco, Sonoyta, Caborca y El Desemboque. Para esa región, los investigadores diferenciaron solo dos tipos de comunidades vegetales: vegetación de suelos arenosos y matorral micrófilo desértico. El berrendo prefirió la vegetación de suelos arenosos. En el único estudio previo sobre uso de hábitat por el berrendo en la Reserva El Pinacate, López-Saavedra y Paredes-Aguilar (2000) no diferenciaron alguna disponibilidad proporcional de comunidades vegetales y reportaron que la especie prefirió bajadas desérticas o pie de monte y planicies arenosas.

Una de las técnicas no invasivas mayormente usadas para generar información sobre relaciones ecológicas entre una especie y su hábitat es la que involucra el conteo, colecta y análisis de grupos fecales (Campbell *et al.*, 2004). El método de conteo de grupos fecales es ampliamente usado como índice de abundancia y actividad de herbívoros silvestres (Bailey y Putman, 1981). Este método se ha validado frente a densidades de población conocidas para diversas especies, con identificación de relaciones lineales y no lineales (Barnes, 2001; Hayward *et al.*, 2005; Forsyth *et al.*, 2007; McCann *et al.*, 2008; Rönnegård *et al.*, 2008; Ariefandy *et al.*, 2013). También se utiliza como un indicador del uso espacial o temporal del hábitat, ya que se considera que la densidad de grupos fecales es proporcional al tiempo de presencia y permanencia en un hábitat (Hannan y Whelan, 1989). Igualmente, este método puede aplicarse simultáneamente a múltiples especies con diferentes patrones de actividad y comportamiento (Lunney y O'Connell, 1988), y se ha validado su uso en grandes áreas en amplia variedad de hábitats (Mayle *et al.*, 1999). En comparación con muchos otros métodos de monitoreo, se considera que los conteos de grupos fecales son relativamente precisos (Dinerstein, 1980; Bailey y Putman, 1981; Davis *et al.*, 2022), rentables y eficientes en términos de tiempo (Caughley, 1977), y se utilizan con frecuencia para derivar índices de abundancia para decisiones de manejo (McCann *et al.*, 2008; Forsyth *et al.*, 2012). Incluso, se han desarrollado procedimientos basados en Excel para estimaciones cuantitativas de densidades de población de ungulados a partir del conteo de grupos fecales (Mandujano, 2014).

En un estudio para analizar la efectividad del conteo de grupos fecales y los índices derivados de cámaras trampa para monitorear actividades de mamíferos herbívoros, Davis *et al.* (2022) establecen que cuando los recursos financieros para el uso de cámaras trampa son limitados, pero se dispone de mano de obra, se deben considerar los índices derivados de los datos de ocurrencia del conteo de grupos fecales. En la mayoría de los casos, los índices de ocurrencia derivados de densidad de grupos fecales tienen el potencial de detectar cambios ecológicamente importantes y mejorar la rentabilidad del monitoreo.

Es indispensable diferenciar claramente las excretas de berrendo de las de otros ungulados como el venado bura (*Odocoileus hemionus*) y borrego cimarrón (*Ovis canadensis*).



La identificación de los pellets fecales por morfometría no es completamente confiable, ya que existe alta similitud en tamaño, forma, color y textura de ellos entre las tres especies de ungulados al considerar la variabilidad intrínseca debida a sexo y edad de los animales (Johnson y MacCracken, 1978; Woodruff *et al.*, 2014). Protocolos de identificación mediante análisis de ADN mitocondrial, específicamente citocromo b (*Cytb*), han generado resultados positivos para la diferenciación de las muestras fecales de berrendo (Woodruff *et al.*, 2016). El presente trabajo consistió en utilizar las excretas de berrendo sonorense identificadas mediante el *Cytb*, para conocer las preferencias de hábitat e identificar los componentes de vegetación asociados a la abundancia de berrendo mediante diversos métodos de análisis en la distribución de los grupos fecales en el área de estudio.

## MATERIAL Y METODOS

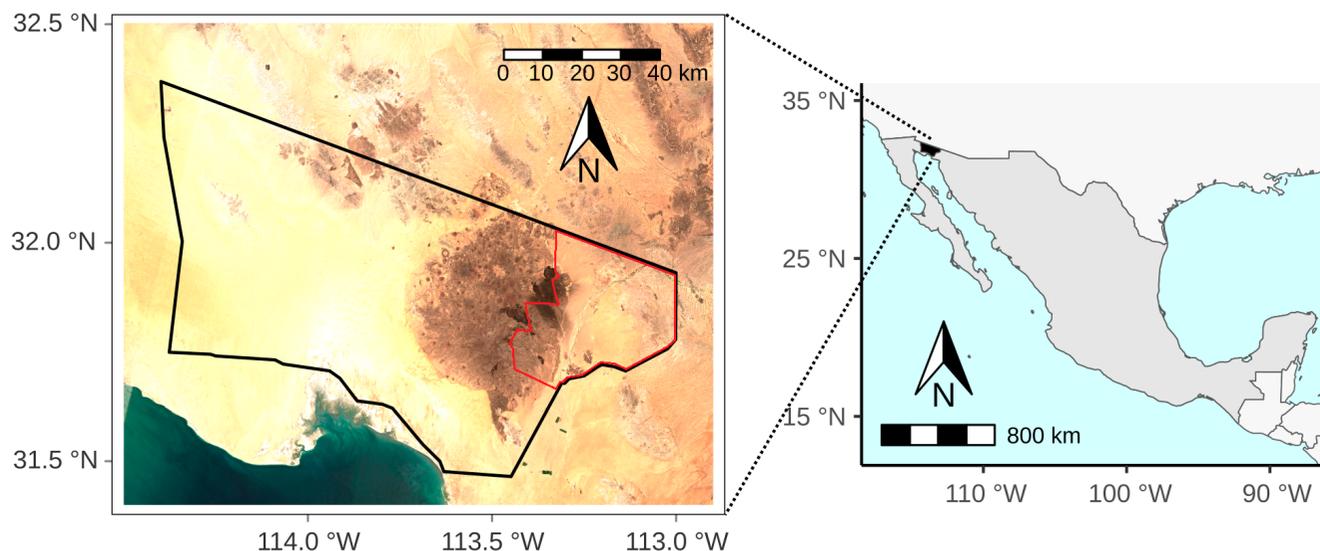
### Área de estudio

La Reserva El Pinacate se encuentra en el extremo noroeste del estado de Sonora (Figura 1), próximo a la terminación septentrional del Golfo de California (Vidal *et al.*, 2005). Esta área se caracteriza por la presencia de un escudo volcánico, así como extensas dunas activas que lo rodean, por las que es considerado el desierto de arena más grande de Norteamérica. La zona del escudo volcánico representa uno de los complejos geológicos más destacables del Gran Desierto de Altar, ocupando una superficie aproximada de 2,000 Km<sup>2</sup> (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995). El clima es de tipo árido estepario de acuerdo con la clasificación de Köppen (1948), extremo, muy árido o desértico, semicálido BWhw (x') (e'), con lluvias escasas todo el año. La temperatura media anual se encuentra entre los 18 y 22 °C y la precipitación media anual es menor de 200 mm. Durante los meses de junio y julio la

temperatura máxima promedio es de 49 °C y el registro de la máxima extrema es de 56.7 °C. En el invierno, la temperatura nocturna puede descender hasta -8.3 °C (CONANP – SEMARNAT 2005), aunque son muy raras las temperaturas bajo cero. La elevación del terreno en esta región varía de 200 a 1,200 m y se caracteriza por una topografía de planicies y bajadas solo interrumpida por el escudo volcánico con la Sierra El Pinacate y algunas sierras graníticas. Se delimitó un área de 93,100 ha al oriente del macizo volcánico. Esta superficie corresponde con las áreas con mayor número de observaciones de berrendo durante monitoreos aéreos y avistamientos terrestres realizados durante los 12 años anteriores (USFWS, 2016). Para la Reserva El Pinacate se registran más de 540 especies de plantas vasculares, 40 especies de mamíferos, 200 de aves, 40 de reptiles, además de anfibios y peces de agua dulce. Algunas especies se clasifican como endémicas, amenazadas y en peligro de extinción (SEMARNAT 2018).

### Caracterización de los sitios

Como primera aproximación, se utilizó Google Earth Pro (Google Earth© 2021, 1:280,000, v7.3.6.10201) para la identificación a gran escala de las características fisiográficas, de suelo y vegetación el polígono del área de estudio. Posteriormente se realizaron verificaciones de campo para determinar fisonomía de comunidades vegetales. También se identificó el tipo de suelo asociado a la vegetación mediante mapas edafológicos (INEGI, 2013). De acuerdo con las diferencias en asociaciones vegetales y condiciones del suelo, se establecieron sitios de observación en número de manera proporcional a las extensiones de superficie ocupadas por cada asociación vegetal. Nueve sitios de observación fueron seleccionados para representar las condiciones de toda el área de estudio. Para cada sitio de observación se delimitó un transecto de



**Figura 1.** Localización del área de estudio, delimitada por línea roja, en zona oriente del polígono de la Reserva de la Biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar.

**Figure 1.** Location of the study area, delimited by a red line, in the eastern zone of the El Pinacate y Gran Desierto de Altar Biosphere Reserve polygon.

1 Km de largo por 4 m de ancho. Dentro de cada transecto se marcaron puntos permanentes cada 50 m y se registró su ubicación en un GPS para evaluar cobertura y cosecha en pie del estrato herbáceo en parcelas de 10 m<sup>2</sup>. A lo largo de cada transecto se realizaron muestreos con métodos de distancia (Elzinga *et al.*, 1998) para determinar la diversidad y densidad de arbustivas y arbóreas, así como mediciones de altura y cobertura como atributos arquitectónicos que aportan forraje y cobertura a la fauna silvestre. Toda la información se cargó en QGIS (QGIS Development Team, 2023) para el análisis y caracterización de las condiciones de hábitat. La combinación de los factores anteriormente mencionados permitió la generación de variables como diversidad y estructura de especies vegetales y tipo de suelo, que caracterizaron a los sitios y se consideraron para evaluar la correlación con la abundancia del berrendo.

### Análisis de diversidad alfa y beta

Se realizaron cálculos de diversidad en las comunidades vegetales, para lo que se generaron índices de diversidad alfa y beta. Para la diversidad alfa, se utilizó el índice de especies efectivas de Jost (Jost, 2006).

$$D' = \text{Exp} \left( - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \right)$$

Para la medición de diversidad beta se utilizó el índice de Morisita-Horn, el cual está fuertemente influenciado por la riqueza de especies y el tamaño de las muestras (Moreno, 2001).

$$C_{MH} = \frac{2 \sum (a_i x b_j)}{(d a + d b)(a N x b N)}$$

### Conteo y colecta de grupos fecales

El conteo de grupos fecales sirvió como indicador de la abundancia relativa de berrendos en las diversas asociaciones vegetales diferenciadas en el área de estudio (Neff, 1968). Los muestreos de grupos fecales se realizaron dentro de los 4,000 m<sup>2</sup> de cada transecto. Se realizó un muestreo por temporada y en cada ocasión se registró, colectó y etiquetó el material fecal encontrado y se aseguró que el material colectado correspondiera al período de cada muestreo.

### Análisis de ADN para diferenciación de excretas

Las muestras fecales fueron sometidas a extracciones de ADN con el QIAamp Fast DNA Stool Mini Kit (Qiagen Inc., Valencia, CA, USA) para realizar análisis genéticos y diferenciar la especie animal de procedencia. La confirmación de muestras fecales procedentes de berrendo permitió determinar la abundancia relativa de berrendo sonoreense en los sitios y temporadas de muestreo. Las diferencias en abundancia para cada sitio y temporada del año permitieron conocer las preferencias de hábitat. Durante el proceso de PCR se utilizó el juego de cebadores para ADN mitocondrial diseñado por Woodruff *et al.* (2014) con el fin de diferenciar entre las muestras de venado bura y berrendo sonoreense. Los productos de

PCR se analizaron utilizando el Applied Biosystems HITACHI ABI PRISM 3130xl Genetic Analyzer y se visualizaron utilizando el software Gene Mapper.

### Análisis de datos

Posterior a caracterizar el hábitat y generar mediciones sobre los atributos de vegetación en diversidad, composición (abundancia relativa) y estructura, se realizaron análisis de correlación entre la abundancia de berrendo y las variables específicas de vegetación y tipos de suelo. Los análisis se realizaron mediante la prueba no paramétrica Rho de Spearman (Painter *et al.*, 1999). Los análisis de preferencia de hábitat se hicieron mediante el análisis comparativo de las frecuencias de uso esperadas y frecuencias de uso observadas en pruebas de chi cuadrada. Cuando se identificaron diferencias ( $p < 0.05$ ) entre el uso esperado y observado de la prueba de chi cuadrada, se utilizaron los intervalos de confianza de Bonferroni para determinar si el porcentaje de uso de cada asociación vegetal fue mayor o menor ( $p \leq 0.05$ ) al porcentaje de su disponibilidad (Byers *et al.*, 1984).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de los sitios

La asignación de los transectos de muestreo correspondió de manera representativa a la proporción de los tipos de vegetación en el área de estudio. Al realizar la caracterización de la vegetación de cada uno de los sitios se determinaron las asociaciones vegetales específicas y se presenta la denominación actual en base a la dominancia de las especies resultantes en los análisis cuantitativos de diversidad, no a la fisonomía o dominancia visual de su estructura. Los datos obtenidos muestran que las principales asociaciones vegetales encontradas en estos sitios fueron de *Larrea-Ambrosia*, *Encelia-Larrea*, *Cylindropuntia-Atriplex*, *Larrea-Encelia* y sitios donde *Larrea tridentata* fue la especie predominante casi absoluta, con valores mayores al 90% de la composición vegetal. Los estudios previos sobre el hábitat del berrendo para esta área solo diferencian las asociaciones matorral micrófilo y vegetación de dunas (López-Saavedra y Paredes-Aguilar, 2000; Colchero *et al.*, 2006). De acuerdo con valores de precipitación y temperatura, se definieron cuatro temporadas en el año de la siguiente manera: frío húmedo (enero a marzo), cálido seco (abril a junio), cálido húmedo (julio a septiembre) y frío seco (octubre a diciembre).

### Análisis de diversidad alfa y beta de la vegetación

Los valores de riqueza y diversidad para los nueve sitios de observación se presentan en la Tabla 1. Las variaciones que se encontraron en la riqueza de especies entre cada temporada fueron mínimas, sin embargo, en algunos casos la diversidad calculada sí sufrió cambios más notorios, como es el caso del sitio cuatro donde la riqueza se mantuvo entre cinco y seis especies, pero se puede apreciar como la diversidad disminuyó para la temporada cálida húmeda y aumentó levemente durante el frío seco, aunque el cambio fue muy pequeño. Esto es debido a las abundancias de las especies presentes



**Tabla 1.** Diversidad alfa de las comunidades vegetales representada con el índice de Jost de especies efectivas en la Reserva El Pinacate, 2021-2022.

**Table 1.** Alpha diversity of plant communities, as represented by the Jost effective species index, at the El Pinacate Reserve, 2021-2022.

Sitio	Cálido seco		Cálido húmedo		Frío seco	
	Riqueza	Jost	Riqueza	Jost	Riqueza	Jost
1	8	3.4289	7	3.5246	7	3.5246
2	9	4.2273	8	3.6137	8	3.7373
3	7	2.5274	9	2.6030	9	2.5813
4	5	3.3661	5	1.7525	6	1.9343
5	4	1.6307	3	1.3035	3	1.3035
6	4	2.5168	4	2.6030	4	2.6030
7	3	1.4784	4	1.4373	3	1.4373
8	4	1.2847	4	1.5358	4	1.5145
9	2	1.2847	2	1.0695	2	1.0695

que, para la temporada de calor seco, la abundancia de especies era bastante equitativa, mientras que en calor húmedo y frío seco una de las especies fue la más abundante, lo que influyó en el valor de diversidad.

La Tabla 2 muestra la matriz de contrastes en diversidad beta para los nueve sitios de observación. En rosa se indica la similaridad entre sitios. La mayor similaridad se observó entre los sitios 5, 7, 8 y 9 que corresponden a la asociación vegetal donde la especie *Larrea tridentata* presentó abundancias por encima del 90 %. Los sitios 1 y 3 fueron similares entre si con asociaciones vegetales de *Larrea-Ambrosia* con presencia de algunas plantas de palo verde azul (*Parkinsonia florida*) y mezquite (*Prosopis glandulosa*). Por otra parte, en verde se resaltan los valores de heterogeneidad entre sitios, donde el sitio número cuatro fue el más diferente al resto con la presencia y abundancia de *Cylindropuntia fulgida*, siendo la más dominante en la composición vegetal, misma especie que registró escasa o nula presencia en el resto de los sitios de observación. Este mismo sitio 4 presentó asociación principal con *Atriplex* y con presencia de palo verde y mezquites en arroyos y bajíos. Los sitios 2 y 6 presentaron alta singularidad, aunque los dos con asociaciones de *Larrea* y *Encelia*. El sitio 2 presentó mayor abundancia de *Encelia*.

### Composición y estructura de la vegetación

El número de especies dentro del estrato arbustivo-arbóreo fue de dieciséis en total. La cobertura herbácea fue bastante baja para todos los sitios de observación, solamente dos sitios presentaron un mayor porcentaje de cobertura respecto al resto, estos fueron sitios dominados por *Larrea tridentata*, donde la cobertura herbácea alcanzó un porcentaje no mayor al 10 % durante la temporada cálida húmeda. No obstante, la cobertura herbácea consistió en plantas anuales muertas. La altura promedio y cobertura del estrato arbustivo-arbóreo difirió entre las distintas asociaciones vegetales, la mayoría de los sitios presentó alturas promedio entre los 1.5 a 2 m de altura, con la excepción del sitio 3 (*Larrea-Ambrosia*) con una altura promedio de 3.4 m. Las alturas promedio de las plantas se mostraron estables durante el año con valores variando entre sitios entre 0.5 a 1.5 m. Los sitios con mayores coberturas del estrato arbustivo-arbóreo fueron aquellos donde *Larrea tridentata* fue una especie dominante o una de las especies principales en la composición de la comunidad vegetal, estos valores continuaron siendo similares en los diferentes periodos estacionales.

**Tabla 2.** Diversidad beta de las comunidades representada por el índice de Morisita-Horn en la Reserva El Pinacate, 2021-2022.

**Table 2.** Beta diversity of the communities represented by the Morisita-Horn index at the El Pinacate Reserve, 2021-2022.

	Primavera 2021								
	SITIO 1	SITIO 2	SITIO 3	SITIO 4	SITIO 5	SITIO 6	SITIO 7	SITIO 8	SITIO 9
SITIO 1	1	0.32	0.96	0.17	0.93	0.90	0.93	0.92	0.90
SITIO 2		1	0.36	0.12	0.28	0.61	0.28	0.28	0.27
SITIO 3			1	0.03	0.98	0.93	0.98	0.98	0.96
SITIO 4				1	0.001	0.04	0.01	0.00	0.00
SITIO 5					1	0.89	0.99	0.99	0.99
SITIO 6						1	0.89	0.89	0.87
SITIO 7							1	0.99	0.99
SITIO 8								1	1
SITIO 9									1

### Variables distintivas de hábitat

Los tipos de suelo fueron clasificados en cuatro, yermosol cálcico con textura gruesa gravosa (YC - GG), yermosol cálcico con textura media pedregosa (YC - MP), regosol calcárico con textura gruesa (RC - G) y regosol calcárico con textura gruesa gravosa (RG - GG). Con esta información se generaron las variables de hábitat de tipo de vegetación y tipo de suelo para cada sitio de observación, los cuales se clasificaron de la siguiente manera: sitio 1 - *Larrea-Ambrosia*/YC-GG, sitio 2 - *Encelia-Larrea*/RC-G, sitio 3 - *Larrea-Ambrosia*/RC-GG, sitio 4 - *Cylindropuntia-Atriplex*/RC-G, sitio 5 - *Larrea*/YC-GG, sitio 6 - *Larrea-Encelia*/YC-MP y para los sitios 7, 8 y 9 fue *Larrea*/RC-G. No se registró ningún cuerpo de agua natural o artificial cercano a los sitios de observación o dentro del área de distribución crítica del berrendo sonoreño, motivo por el cual esta variable no fue considerada.

### Diferenciación de excretas de berrendo sonoreño

Los resultados generados por el analizador genético ABI PRISM 3130xl permitieron identificar la especie de procedencia de 234 de las 244 muestras de excretas de ungulado. Se diferenciaron en total 182 excretas de berrendo sonoreño y 52 de venado bura. La especie de mayor abundancia fue el berrendo sonoreño y las temporadas donde se encontró el mayor número de grupos fecales fueron las de frío seco y húmedo que abarcan desde los meses de septiembre a febrero, sugiriendo un mayor uso de dichos sitios de observación en estas épocas (Figura 2). En el mapa de la Figura 3 puede observarse que la mayor abundancia de berrendo se registró en los sitios 6, 1, 4 y 3, con 78, 40, 38 y 11 grupos fecales de manera correspondiente.

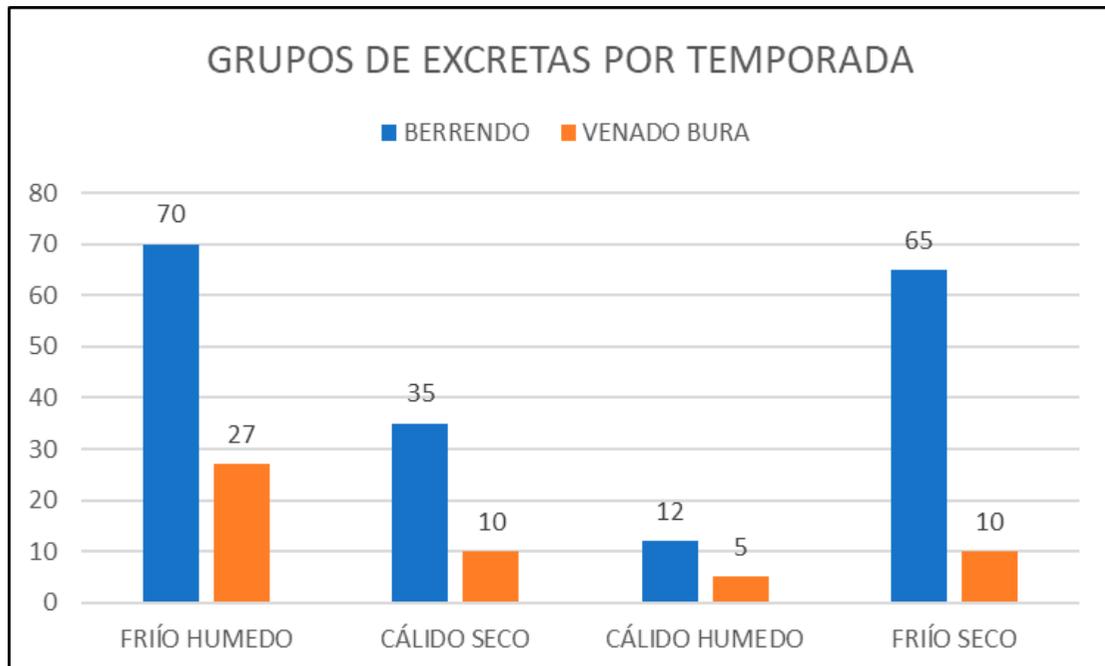
### Correlación entre abundancia de berrendo y comunidades de vegetación

Mediante el programa Excel se generaron 132 coeficientes de correlación aplicando el estadístico de prueba Rho de Spearman con un nivel de confianza de 95 %. Se agruparon los datos de composición y estructura de la vegetación en cada temporada, obteniendo como resultado que la única variable con una relación significativa a la presencia de berrendos fue la diversidad de especies (Rho = 0.729,  $p < 0.05$ , 7 g. l.) durante la temporada de frío seco (Tabla 3), posiblemente debido a la presencia de plantas herbáceas que crecen después de las lluvias de verano (Meléndez *et al.*, 2006).

La temporada cálida húmeda presentó más valores significativos entre la vegetación y la presencia de berrendo. Encontramos que la gobernadora (*Larrea tridentata*) obtuvo una correlación negativa, si bien también obtuvo valores negativos tanto para el calor y frío secos, durante la temporada cálida húmeda esta correlación (Rho = - 0.708,  $p < 0.05$ , 7 d. f.) fue altamente significativa (Tabla 4).

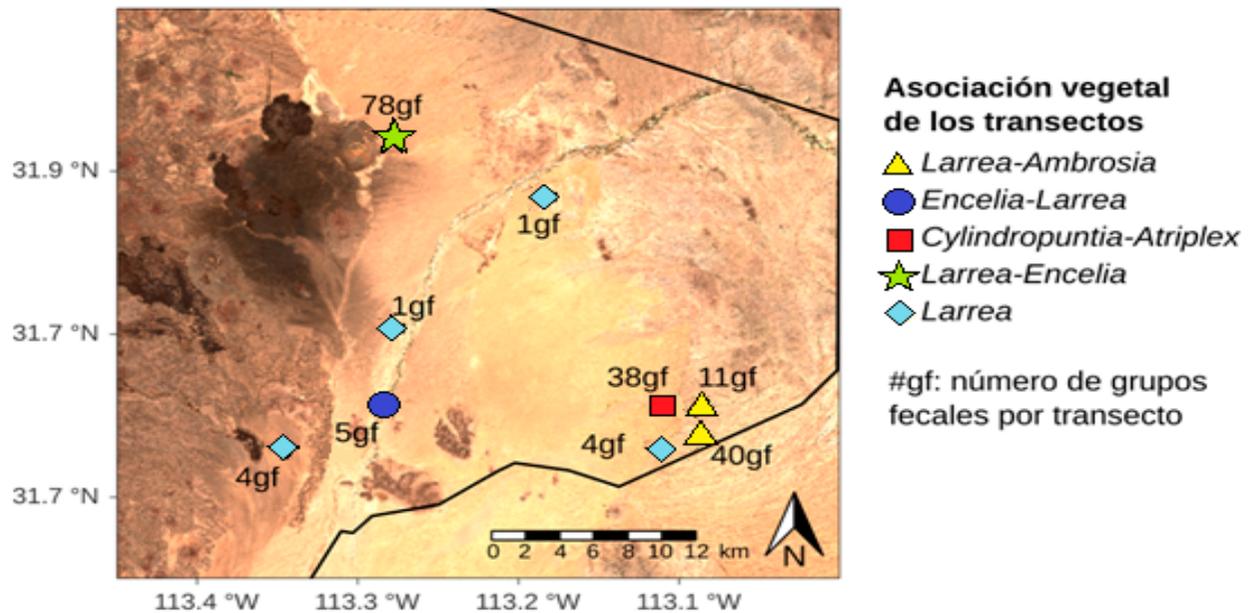
### Preferencia de hábitat

Se realizaron análisis de preferencia de hábitat para el tipo de vegetación en cada sitio de observación utilizando la prueba de chi cuadrada con el programa Minitab Versión 20.3 (2021), la prueba se realizó utilizando un valor de significancia  $p = 0.05$ . Se observó una preferencia de uso para las asociaciones de *Cylindropuntia-Atriplex* y *Larrea-Encelia* en la temporada frío húmedo ( $X^2 = 7.11$  y 99.97 respectivamente). Durante la temporada cálida seca la asociación *Cylindropuntia-Atriplex* no presentó diferencias entre el uso esperado y el observado ( $X^2 = 0.91$ ). Para calor húmedo no se mostraron diferencias



**Figura 2.** Número de grupos fecales de berrendo sonoreño (*Antilocapra americana sonoriensis*) y venado bura (*Odocoileus hemionus*) para cada temporada en la Reserva El Pinacate 2021-2022.

**Figure 2.** Number of fecal pellet groups from Sonoran pronghorn (*Antilocapra americana sonoriensis*) and mule deer (*Odocoileus hemionus*) for each season at the El Pinacate Reserve 2021-2022.



**Figura 3.** Asociaciones vegetales y número de grupos fecales (en círculos) en los sitios de observación en la Reserva El Pinacate, 2021-2022.  
**Figure 3.** Plant associations and number of fecal groups (circled) found at each observation site in the El Pinacate Reserve, 2021-2022.

**Tabla 3.** Correlaciones (Rho de Spearman) entre abundancia de berrendos y las características de vegetación en los sitios de observación (\*= $p < 0.05$ , 7 g. l.).

**Table 3.** Correlations (Spearman’s Rho) between pronghorn abundance and vegetation characteristics at observation sites (\* $p < 0.05$ , 7 d. f.).

	Suelo desnudo (%)	Cobertura herbácea (%)	Densidad (Individuos/Ha)	Cobertura (m2/Ha)	Altura (cm)	Diversidad (Jost)
Cálido seco	0.367	-0.283	0.142	0.342	0.458	0.333
Cálido húmedo	-0.021	0.113	0.096	-0.038	0.121	0.288
Frío seco	0.563	-0.521	0.046	-0.479	0.104	0.729*

**Tabla 4.** Correlaciones (Rho de Spearman) de la presencia de berrendos con la abundancia, cobertura y altura de las especies vegetales durante el periodo cálido húmedo (\*valores significativos  $p < 0.05$ )

**Table 4.** Correlations between the pronghorn presence and the abundance, cover, and height of vegetation during the warm-humid period (\*significant values  $p < 0.05$ ).

Especies vegetales	Abundancia (%)	Cobertura (%)	Altura (m)
Larrea tridentata	-0.708*	-0.363	-0.571
Encelia farinosa	0.204	0.204	0.221
Ambrosia deltoidea	0.321	0.321	0.196
Ambrosia dumosa	0.696*	0.696*	0.696*
Atriplex polycarpa	0.271	0.396	0.071
Carnegiea gigantea	0.321	0.271	0.363
Cenchrus ciliaris	0.508	0.508	0.508
Cylindropuntia arbuscula	0.208	0.208	0.208
Cylindropuntia bigelovii	-0.004	-0.138	-0.138
Cylindropuntia fulgida	0.783*	0.783*	0.650
Fouquieria splendens	-0.292	-0.163	-0.071
Solanum hindsianum	0.396	0.396	0.396
Olneya tesota	0.396	0.396	0.396
Pachycereus schottii	0.396	0.396	0.396
Parkinsonia florida	0.667	0.667	0.700*

entre el uso observado y el esperado de las asociaciones *Larrea-Ambrosia* ( $X^2 = 5.56$ ), *Cylindropuntia-Atriplex* ( $X^2 = 44.45$ ) y *Larrea-Encelia* ( $X^2 = 2.78$ ), mientras que para *Encelia-Larrea* ( $X^2 = 11.11$ ) y *Larrea* ( $X^2 = 17.36$ ) el uso fue menor al esperado. Para el frío seco se observó de nueva cuenta un mayor uso de *Larrea-Encelia* ( $X^2 = 46.53$ ), mientras que para *Larrea-Ambrosia* ( $X^2 = 6.08$ ), *Encelia-Larrea* ( $X^2 = 2.21$ ) y *Cylindropuntia-Atriplex* ( $X^2 = 16.42$ ) no hubo diferencias entre el uso observado y el esperado, siendo de nueva cuenta *Larrea* ( $X^2 = 41.42$ ) la asociación menos utilizada (Tabla 5). La preferencia diferencial de las asociaciones mencionadas coincide con la disponibilidad de arbustivas y arbóreas de buen valor forrajero como el palo verde y mezquite en la asociación dominada por *Larrea-Ambrosia* o el chamizo (*Atriplex* spp.) con valores altos de palatabilidad y contenido de nutrientes

(Colomer y Passera, 1990; Mehramiz, 1998) en la comunidad de *Cylindropuntia-Atriplex*. Igualmente, el contenido de agua que aporta la choya saltona (*Cylindropuntia fulgida*) es una especie utilizada por ungulados silvestres y domésticos durante la mayor parte del año (Alcalá y Krausman, 2012), especialmente donde la disponibilidad de agua para beber es limitada o nula.

La detección de la presencia de una especie en el medio silvestre es una parte clave del estudio y manejo de esta, para lograr este objetivo se necesitan métodos de monitoreo adecuados a las necesidades de la especie de estudio en cuestión (Foran *et al.*, 1997). El éxito obtenido en la identificación de la procedencia de las muestras nos permitió estimar la abundancia del berrendo sonoreño en cada comunidad y sus movimientos espaciotemporales (Figura 3). Las mayores

**Tabla 5.** Uso de asociaciones vegetales por el berrendo sonoreño para cada temporada del año, \* $p < 0.05$ .

**Table 5.** Use of plant associations by the Sonoran pronghorn for each season, \* $p < 0.05$ .

		Uso Observado	Uso Esperado	(Chi) <sup>2</sup>		
Cálido seco	Larrea-Ambrosia	17.14	22.22	1.16	(-+)	Sin diferencia
	Encelia-Larrea	2.86	11.11	6.13	(--)	Evitada
	Cylindropuntia-Atriplex	14.29	11.11	0.91	(-+)	Sin diferencia
	Larrea-Encelia	65.71	11.11	268.37	(++)	Preferida
	Larrea	0.00	44.44	44.44	(--)	Evitada
				<b>321.01*</b>		
Cálido húmedo	Larrea-Ambrosia	33.33	22.22	5.56	(-+)	Sin diferencia
	Encelia-Larrea	0.00	11.11	11.11	(--)	Evitada
	Cylindropuntia-Atriplex	33.33	11.11	44.45	(-+)	Sin diferencia
	Larrea-Encelia	16.67	11.11	2.78	(-+)	Sin diferencia
	Larrea	16.67	44.44	17.36	(--)	Evitada
				<b>81.26*</b>		
Frío seco	Larrea-Ambrosia	33.85	22.22	6.08	(-+)	Sin diferencia
	Encelia-Larrea	6.15	11.11	2.21	(-+)	Sin diferencia
	Cylindropuntia-Atriplex	24.62	11.11	16.42	(-+)	Sin diferencia
	Larrea-Encelia	33.85	11.11	46.53	(++)	Preferida
	Larrea	1.54	44.44	41.42	(--)	Evitada
				<b>112.66*</b>		
Frío húmedo	Larrea-Ambrosia	27.14	22.22	1.09	(-+)	Sin diferencia
	Encelia-Larrea	4.29	11.11	4.19	(--)	Evitada
	Cylindropuntia-Atriplex	20.00	11.11	7.11	(++)	Preferida
	Larrea-Encelia	44.29	11.11	99.07	(++)	Preferida
	Larrea	4.29	44.44	36.28	(--)	Evitada
				<b>147.74*</b>		
Anual	Larrea-Ambrosia	28.02	22.22	1.51	(-+)	Sin diferencia
	Encelia-Larrea	4.40	11.11	4.06	(--)	Evitada
	Cylindropuntia-Atriplex	21.43	11.11	9.58	(++)	Preferida
	Larrea-Encelia	42.86	11.11	90.72	(++)	Preferida
	Larrea	3.30	44.44	38.09	(--)	Evitada
				<b>143.97*</b>		

abundancias presentes en las asociaciones vegetales observadas coinciden con las estimaciones de abundancia reportadas por observaciones directas (70 – 90 individuos) en los monitoreos aéreos realizados por la Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (CEDES) y por el Departamento de Vida Silvestre del Estado de Arizona (Arizona Game and Fish Department) (CEDES, 2019; Meléndez *et al.*, 2006). A su vez, las mayores concentraciones de berrendos se han observado en la región norte y sureste del polígono de muestreo, mismos sitios que corresponden a la continuidad del corredor histórico que conectaba a la población de la Reserva El Pinacate hacia el norte con las poblaciones de Arizona, que actualmente se encuentra limitado a causa del muro fronterizo y, al sureste con la población Quitovac que de igual manera mantiene un flujo de individuos escaso debido a la existencia de cercos y la carretera 8 que va de Puerto Peñasco a Sonoyta (USFWS, 2016).

Las muestras fecales colectadas fueron clasificadas según el estado que presentarían en tres categorías: F1, F2 y F3. Las muestras F1 eran aquellas muestras que se encontraban visiblemente frescas, aun conservando la capa de mucosa que las recubre; las muestras F2 no presentaban mucosa, pero se encontraban frescas, conservando humedad y un color oscuro; las F3 eran muestras que se observaban más resacas, pero aún poseían coloración oscura y poca humedad en su interior. Dentro de las muestras colectadas para berrendo sonoreño no hubo ninguna dentro de la clasificación F1, el 20 % de las muestras se clasificó como F2 y 80 % como F3, esto es normal debido a las condiciones ambientales desérticas existentes en la RBEPGDA y a los periodos de tiempo en que se realizaron los muestreos, los cuales constaron de tres meses de separación entre cada uno. Algunas de las muestras recolectadas presentaron baja calidad de ADN, esto se debe a la degradación que ocurre debido a la exposición al medio y también al tiempo transcurrido entre el depósito de las muestras y su colecta, sin embargo, a pesar de las condiciones climáticas propias del Desierto Sonorense, solo 5 % del total de la muestra recolectada se mantuvo sin identificar. Nuestros resultados concuerdan e incluso superan en porcentaje a los obtenidos por Woodruff *et al.* (2014), quienes demostraron una tasa de éxito del 50 % en la identificación de especies por medio de ADN en muestras fecales después de tres meses de exposición a las condiciones de verano.

La mayor abundancia de berrendo se registró en las asociaciones vegetales *Larrea-Encelia*, *Larrea-Ambrosia* y *Cylindropuntia-Atriplex*. Dichas abundancias pueden estar influenciadas no solo por la ubicación geográfica del corredor histórico, sino también por la diversidad de especies vegetales que se mantiene por un mayor periodo en el año, favorecida por las escorrentías estacionales (López-Saavedra y Paredes-Aguilar, 2000; Colchero *et al.*, 2006). Se demuestra un mayor uso de estas asociaciones por la población de berrendos dentro de la Reserva El Pinacate, lo cual marca una diferencia ante lo establecido por Hervert *et al.* (2005) para las poblaciones de Arizona, las cuales muestran una mayor inclinación por la asociación de palo verde-choya y en

menor medida palo verde-cactus varios y, asociaciones de gobernadora, siendo que esta preferencia se ve influenciada por la disponibilidad de las asociaciones vegetales y de las características topográficas propias de la región en la que habitan. Las preferencias de hábitat de los berrendos suelen incluir áreas de matorral o médanos y estas suelen cambiar de acuerdo con la temporada (Hervert *et al.*, 2005; deVos and Miller, 2005; Meléndez *et al.*, 2006). Las áreas con mayor abundancia de berrendo corresponden a sitios de llanuras o dunas suaves donde la vegetación es principalmente de matorral. Durante los periodos fríos se registraron las abundancias más altas, estas disminuyeron a medida que el clima se volvía más cálido, Las condiciones de vegetación en respuesta a las precipitaciones de invierno parecen favorecer a la disponibilidad de herbáceas anuales que aportan forraje durante los meses de invierno y primavera.

Los análisis de diversidad alfa señalaron a los sitios 1, 2 y 3 como los más diversos y a la vez fueron los de mayor riqueza de especies, el sitio 3 (*Larrea-Ambrosia*) registro mayor abundancia de berrendo, sin embargo, el sitio 1, también de asociación *Larrea-Ambrosia*, y el sitio 2 (*Encelia-Larrea*) fueron los menos utilizados por los berrendos durante el estudio. Las asociaciones de *Cylindropuntia-Atriplex* y *Larrea-Encelia* que presentaron igualmente una utilización por el berrendo mayor a la esperada. La diversidad beta señala al sitio con *Cylindropuntia-Atriplex* como al más diverso a los demás, donde la choya saltona (*Cylindropuntia fulgida*) fue la especie más dominante.

La choya saltona (*Cylindropuntia fulgida*) obtuvo valores altamente significativos en cuanto a su abundancia relativa y cobertura (Tabla 4), esta es una de las especies más utilizadas por los berrendos debido a su alto contenido de agua de aproximadamente 85 % de su peso (Fox, 1997) y, aunque la choya saltona posea bajos niveles nutrimentales (Hughes, 1991). Para el berrendo como para los ungulados silvestres que habitan ambientes áridos, el satisfacer los requerimientos de agua es más importante durante todo el año y mayormente durante el verano (Hervert, 2005; Gedir *et al.*, 2016). Otra especie relevante fue el palo verde azul (*Parkinsonia florida*), el cual obtuvo valores altamente significativos en su altura. El palo verde es una especie que se ha reportado usada como alimento en el suroeste de Arizona (Hughes, 1991) y, por la distribución de los grupos fecales colectados se sugiere que estos árboles también pudiesen estar siendo utilizados como echaderos por los berrendos.

Al analizar las características más relevantes con la presencia de berrendo obtuvimos que la diversidad de especies obtuvo una correlación significativa ( $Rho = 0.729$ ,  $p < 0.05$ , 7 g. l.) durante el periodo de frío seco, posiblemente debido a la presencia de plantas herbáceas que crecen después de las lluvias de verano (Colchero *et al.*, 2006; Meléndez *et al.*, 2006). Ninguna otra variable de composición o estructura de la vegetación mostró correlación con la presencia de berrendo sonoreño. La temporada cálida húmeda fue donde se presentaron más valores significativos entre la vegetación y la presencia de berrendo. Encontramos que la gobernadora (*Larrea tridentata*) obtuvo una correlación negativa, asimis-

mo, obtuvo valores negativos tanto para el calor y frío secos, durante la temporada cálida húmeda esta correlación fue altamente significativa.

## CONCLUSIONES

El berrendo utilizó las asociaciones vegetales de manera diferente a la disponibilidad proporcional dentro de la Reserva El Pinacate. Los sitios y asociaciones con mayor abundancia de grupos poseen características de hábitat adecuadas de áreas abiertas, llanuras o de bajadas suaves y seleccionadas por esta subespecie la presencia de escorrentías que proporciona a estos sitios de herbáceas anuales. El tipo de suelo no es un factor de importancia en cuanto al uso y preferencia de hábitat, esta se encuentra más relacionada al tipo de vegetación.

La presencia del berrendo se ve influenciada también por la existencia del corredor histórico. La selección de hábitat se basa más en las condiciones y diferencias en la estructura de la vegetación en las distintas épocas del año.

Los resultados obtenidos en la presente investigación aportan información de utilidad inmediata para la definición de estrategias de mejoramiento y conservación del hábitat en la Reserva El Pinacate. Las asociaciones vegetales y los atributos de vegetación identificados en correlación con la preferencia de sitios por el berrendo permitirán definir áreas prioritarias para fomentar la disponibilidad y calidad de las condiciones de hábitat idóneas para la especie. Es importante señalar que se requiere continuar con la identificación de las dietas estacionales y estimar el aporte nutricional específico de los componentes alimenticios para investigar la significancia de estos valores con el desempeño reproductivo y de sobrevivencia de las poblaciones de berrendo. Igualmente, se reconoce la necesidad de identificar el nivel de simpatria entre las poblaciones de berrendo y otros ungulados como el venado bura y el borrego cimarrón. Igualmente, con la diferenciación de excretas mediante análisis de ADN se podrán monitorear los cambios en abundancia relativa del berrendo y los ungulados en simpatria.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la SECIHTI por otorgar una beca de maestría a la primera autora y al Posgrado en Biociencias de la Universidad de Sonora. A la Dra. Lisette Waits del Laboratorio de Genética Ecológica, Evolutiva y de la Conservación de la Universidad de Idaho por el análisis de ADN para diferenciación de excretas. A la CONANP y específicamente personal de la Reserva de la Biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar por las facilidades durante trabajo de campo.

## CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

## REFERENCIAS

Alcalá-Galván, C.H. y 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.

- Ariefiandy, A., Purwandana, D., Coulson, G., Forsyth, D.M. y Jessop, T.S. 2013. Monitoring the ungulate prey of the Komodo dragon *Varanus komodoensis*: distance sampling or faecal counts? *Wildlife Biology* 19, 126-137. <https://doi.org/10.2981/11-098>
- Bailey, R.E. y Putman, R.J. 1981. Estimation of fallow deer (*Dama dama*) populations from faecal accumulation. *Journal of Applied Ecology* 18, 697-702. <https://doi.org/10.2307/2402361>
- Barnes, R.F.W. 2001. How reliable are dung counts for estimating elephant numbers? *African Journal of Ecology* 39, 1-9. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2001.00266.x>
- Campbell, D., Swanson, G.M. y Sales, J. 2004. Methodological insights: Comparing the precision and cost-effectiveness of faecal pellet group count methods. *Journal of Applied Ecology*. 4:1185-1196.
- Caughley, G. 1977. Analysis of vertebrate populations. (John Wiley: New York, NY)
- Colchero, F., León-Paniagua, L. y Navarro, A.G. 2006. Hábitat del berrendo en México. En: El berrendo en México: acciones de conservación. Valdéz, M., De la Cruz, E., Peters E. y Palledares, E. (Comp.), pp. 37-49. Agrupación Sierra Madre, México, D.F.
- Colomer, J.S. y Passera, C.B. 1990. The nutritional value of *Atriplex* spp. as fodder for arid regions. *Journal of Arid Environments*, 19(3), 289-295.
- Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (CEDES). 2019. Evaluación poblacional y conservación del berrendo sonorense (*Antilocapra americana sonoriensis*) en el norte y noroeste del estado de Sonora. Sexto Informe Nacional de México ante el Convenio Sobre la Diversidad Biológica. Actualizado en octubre 2021. [https://chm.cbd.int/api/v2013/documents/7DFED332-8E25-6C00-8F1B-FD50DFBE5D54/attachments/210186/Meta12-Berrendo%20sonorense\\_SON.pdf](https://chm.cbd.int/api/v2013/documents/7DFED332-8E25-6C00-8F1B-FD50DFBE5D54/attachments/210186/Meta12-Berrendo%20sonorense_SON.pdf)
- CONANP-SEMARNAT. 2005. Programa de Manejo Reserva de la biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar, 82 pp. [https://simec.conanp.gob.mx/pdf\\_libro\\_pm/24\\_libro\\_pm.pdf](https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/24_libro_pm.pdf).
- Conde, D.A., Kolokotronis, S.-O., Ramey II, R. R., R. Medellin, A. y Ryder, O.A. 2006. Genética de la conservación del berrendo. En: El berrendo en México: acciones de conservación. Valdéz, M. De la Cruz, E., Peters, E. y Palledares, E. (Comp.). pp. 27-33. Agrupación Sierra Madre, México, D.F.
- Davis, N.E., Di Stefano, J., Whelan, J., Wright, J., Taylor, L., Coulson, G. y Sitters, H. 2022. Power of faecal pellet count and camera trapping indices to monitor mammalian herbivore activity. *Wildlife Research*, 49(8), 686-697. <https://bioone.org/journals/wildlife-research/volume-49/issue-8/WR21135/Power-of-faecal-pellet-count-and-camera-trapping-indices-to/10.1071/WR21135.full>
- deVos Jr., J.C. y Miller, W.H. 2005. Habitat use and survival of Sonoran pronghorn in years with above-average rainfall. *Wildlife Society Bulletin*, 33(1):35-42.
- Dinerstein, E. 1980. An ecological survey of the Royal Karnali-bardia Wildlife Reserve, Nepal. Part III: Ungulate populations. *Biological Conservation* 18, 5-37. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(80\)90063-4](https://doi.org/10.1016/0006-3207(80)90063-4)
- Elzinga, C.L., Salzer, D.W. y Willoughby, J.W. 1998. Measuring and monitoring plant populations. BLM Technical Report number BLM/RS/ST-98/005+1730.
- Foran, D.R., Crooks, K.R. y Minta, S.C. 1997. Species identification from scat: An unambiguous genetic method. *Wildlife Society Bulletin*, 25:835-839

- Forsyth, D.M., Barker, R.J., Morriss, G. y Scroggie, M.P. 2007. Modeling the relationship between fecal pellet indices and deer density. *Journal of Wildlife Management* 71, 964-70. <https://doi.org/10.2193/2005-695>
- Fox, L.M. 1997. Nutritional content of forage in Sonoran pronghorn habitat, Arizona. M.S. thesis, University of Arizona, Tucson, USA.
- Gedir, J.V., Cain, J.W. 3rd, Krausman, P.R., Allen, J.D., Duff, G.C., and Morgart, J.R. 2016. Potential Foraging Decisions by a Desert Ungulate to Balance Water and Nutrient Intake in a Water-Stressed Environment. *PLoS One*. 2016 Feb 19;11(2):e0148795. doi: 10.1371/journal.pone.0148795. Erratum in: *PLoS One*. 2016 Apr 21;11(4):e0154455. doi: 10.1371/journal.pone.0154455. PMID: 26894504; PMCID: PMC4760715.
- Gómez-Pompa, A. y Dirzo, R. (Coords.). 1995. Reservas de la biosfera y otras áreas protegidas de México. Instituto Nacional de Ecología – Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- Hannan, M.J., Whelan, J. Deer and habitat relations in managed forests. In 'Mammals as pests'. RJ Putman (Ed.) pp. 116–127. Chapman and Hall: New York, NY
- Hayward, M.W., de Tores, P.J., Dillon, M.J., Fox, B.J. y Banks, P.B. 2005. Using faecal pellet counts along transects to estimate quokka (*Setonix brachyurus*) population density. *Wildlife Research* 32, 503-507. <https://doi.org/10.1071/wr03046>
- Hervet, J.J., Bright, J.L., Henry, R.S., Piest, L.A. y Brown, M.T. 2005. Home-range and habitat-use patterns of Sonoran pronghorn in Arizona. *Wildlife Society Bulletin*, 33(1): 8-15. doi:10.2193/0091-7648(2005)33[8:hahpos]2.0.co;2
- Hervet, J.J., Bright, J.L., Brown, M.T., Piest, L.A. y Henry, R.S. 2000. Sonoran pronghorn population monitoring: 1994–1998. Arizona Game and Fish Department Nongame and Endangered Wildlife Program Technical Report 162. Phoenix, USA
- Hughes, K.S. 1991. Sonoran pronghorn use of habitat in southwest Arizona. M.S. thesis, University of Arizona, Tucson, AZ.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2013. Carta Edafológica Serie II. Puerto Peñasco H12-1. Escala 1:250000.
- Johnson, M.K. y MacCracken, J.G. 1978. Similarity between pronghorn and mule deer fecal pellets. *Great Basin Naturalist* 38:222-224.
- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos*, 11:363-375.
- Köppen, W. 1948. Climatología, con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica.
- List, R. y Valdez, M. 2009. Diagnóstico de la población del berrendo (*Antilocapra americana*) en la zona colindante entre México y Estados Unidos y sus potenciales afectaciones por el muro fronterizo. Proyecto INE/A1-019/2009. Informe técnico no publicado presentado al Instituto Nacional de Ecología.
- López-Saavedra, E. y Paredes-Aguilar, R. 2000. Evaluación del ámbito hogareño y calidad de hábitat del borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*), Berrendo sonoreño (*Antilocapra americana sonoriensis*) y del Puma (*Felis concolor*) en la reserva de la biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar. Instituto del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto L112. México, D. F.
- Lunney, D. y O'Connell, M. 1988. Habitat selection by the swamp wallaby *Wallabia bicolor*, the red-necked wallaby *Macropus rufogriseus*, and the common wombat *Vombatus ursinus* in logged burnt forest near Bega New South Wales Australia. *Australian Wildlife Research* 15, 695-706. <https://doi.org/10.1071/wr9880695>
- Mandujano, S. 2014. PELLET: an Excel (R)-based procedure for estimating deer population density using the pellet-group counting method. *Tropical Conservation Science* 7: 318-335. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/194008291400700210>
- Mayle, B.A., Peace, A.J. y Gill, R.M.A. 1999. How many deer? A field guide to estimating deer population size. The Forestry Commission, Edinburgh, United Kingdom.
- McCann, N.P., Moen, R.A. y Niemi, G.J. 2008. Using pellet counts to estimate snowshoe hare numbers in Minnesota. *Journal of Wildlife Management*, 72, 955-958. <https://doi.org/10.2193/2007-083>
- Mehramiz, M. R. 1998. *Nutrient contents of three Atriplex species (Atriplex canescens, Atriplex linearis and Atriplex polycarpa) under different management practices and site conditions*. PhD Dissertation, The University of Arizona.
- Meléndez, C., Paredes, R. y Valdés, M. 2006. Poblaciones del berrendo en Sonora. En: El berrendo en México: acciones de conservación. Valdés, M., De la Cruz, E., Peters E. y Palledares, E. (Comp.). pp. 73-80. Agrupación Sierra Madre. México, D.F.
- Minitab. 2021. *Minitab Statistical Software (Versión 20.3)* [Software]. Minitab, LLC. Recuperado de <https://www.minitab.com/>
- Moreno, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA. Vol. 1. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe. Zaragoza, España. 84 p.
- Neff, D.J. 1968. The pellet-group count technique for big game trend, census, and distribution: a review. *Journal of Wildlife Management*, 32: 597-614.
- Painter, L., Rumiz, D., Guinart, D., Wallace, R., Flores, B. y Townsend, W. 1999. Técnicas de investigación para el manejo de Fauna Silvestre. Manual del III Congreso Internacional sobre Manejo de Fauna Silvestre en la Amazonía, Documento técnico 82/1999, Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR, Santa Cruz. 81 p.
- QGIS Development Team. 2023. QGIS Geographic Information System. Versión 3.26.2. Open-source geospatial foundation project. <http://qgis.osgeo.org>.
- Rönnegård, L., Sand, H., Andrén, H., Månsson, J. y Pehrson, Å. 2008. Evaluation of four methods used to estimate population density of moose *Alces alces*. *Wildlife Biology* 14, 358-371. [https://doi.org/10.2981/0909-6396\(2008\)14\[358:eofmut\]2.0.co;2](https://doi.org/10.2981/0909-6396(2008)14[358:eofmut]2.0.co;2)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. 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. Diario Oficial de la Federación 30 diciembre, 2010.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2018. Reserva de la Biósfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/reserva-de-la-biosfera-el-pinacate-y-gran-desierto-de-altar-161908>.
- Stephen, C.L., deVos, J.C., Lee, T.E., Bickham, J.W., Heffelfinger, J.R. y Rhodes, O.E. 2005. Population genetic analysis of Sonoran

- pronghorn (*Antilocapra americana sonoriensis*). *Journal of Mammalogy*, 86(4): 782-792.
- United States Fish and Wildlife Service. 1998. Final Revised Sonoran Pronghorn Recovery Plan (*Antilocapra americana sonoriensis*). U.S. Fish and Wildlife Service, Albuquerque, New Mexico, USA.
- United States Fish and Wildlife Service. 2016. Draft Recovery Plan for the Sonoran pronghorn (*Antilocapra americana sonoriensis*), Second Revision. U.S. Fish and Wildlife Service, Southwestern Region, Albuquerque, New Mexico, USA.
- Vidal-Solano, J.R., Paz-Moreno, F.A. y Demant, A. 2005. Caracterización y cronología del evento volcánico terciario pre-Pinacate, campo El Pinacate, Noroeste de Sonora, Mexico. *Bol. Dpto. Geol. UNISON*. 18-19.
- Woodruff, S. P., Adams, J.R., Johnson, T.R. y Waits, L.P. 2014. Rapid species identification of Sonoran pronghorn from fecal pellet DNA. *Wildlife Society Bulletin*, 38(4): 842-848.
- Woodruff, S.P., Johnson, T.R. y Waits, L.P. 2016. Examining the use of fecal pellet morphometry to differentiate age classes in Sonoran pronghorn. *Wildlife Biology*, 22(5):217-227.