

**Detecting habitat preferences of bighorn sheep
(*Ovis canadensis cremnobates*) in Baja California
using remote sensing techniques**

Detección de las preferencias de hábitat del borrego cimarrón (*Ovis canadensis cremnobates*) en Baja California, mediante técnicas de teledetección satelital

**Jonathan G. Escobar-Flores¹, Sergio Álvarez-Cárdenas^{1*}, Raúl Valdez², Jorge Torres Rodríguez³, Sara Díaz-Castro¹,
Aradit Castellanos-Vera¹ y Roberto Martínez Gallardo^{4*}**

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. Instituto Politécnico Nacional 195, La Paz 23090, Baja California Sur, México. E-mail: jescobar@cibnor.mx (JGEF), salvarez04@cibnor.mx (SA-C), sdiaz04@cibnor.mx (SD-C), arcas04@cibnor.mx (AC-V).

² Department of Fish, Wildlife and Conservation Ecology, New Mexico State University. Las Cruces, New México 88001, EE.UU. E-mail: rvaldez@ad.nmsu.edu (RV).

³ Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Carretera Ensenada-Tijuana 3918, Ensenada 22860, Baja California, México. E-mail: jtorres@cicese.mx (JTR).

⁴ Universidad Autónoma de Baja California. Km 103 Carretera Tijuana – Ensenada, Ensenada 22860, Baja California, México. E-mail: robtron@uabc.edu.mx (RMG).

*Corresponding author

Introduction: Escape terrain and vegetation cover are two vital components in bighorn sheep habitat use. Understanding these components is essential for conserving and managing this species. Despite the importance of assessing habitat use, there are few studies in Mexico and most efforts have focused on population surveys. The lack of studies of bighorn sheep habitat in Baja California does not allow predicting possible effects of climate change, for example, reduction in availability of forage and less rainfall and increasing local extinctions of sheep populations in desert areas. Our objectives were to assess availability of escape terrain in topographic areas of varying ruggedness (flat, low hills, canyons, and steep mountains) and availability of plant cover, using an index of normalized difference in vegetation within the Sierra Santa Isabel. Additionally, selection of topographic ruggedness and vegetation cover by bighorn sheep was analyzed. The results of this study will serve to identify sites for conservation and management of *Ovis canadensis* and their habitat in the Baja California Peninsula.

Methodology: From July 2011 through February 2012, we observed free-ranging herds of desert bighorn sheep in three time frames in two representative locations in the Santa Isabel mountains. We used terrain roughness and vegetation index, derived from Landsat images to determine the available escape terrain and vegetation cover. From the frequency of sightings and availability of habitat variables, habitat selection was analyzed, using a Chi-squared test and constructing Bonferroni confidence intervals.

Results: The sites with greater availability of escape terrain were more frequently selected by herds of ewes and yearlings ($\chi^2 = 9.83, P < 0.05$), while herds of mixed adults selected sites having less escape terrain. During the dry season, sheep selected sites had low vegetation cover ($\chi^2 = 11.58, P < 0.05$). During the rainy season, sheep selected greater vegetation cover at only one of the study sites ($\chi^2 = 8.72, P < 0.05$). During the post-rainfall season, we found no relationship between vegetation cover and presence of sheep.

Discussion and conclusions: Selection of escape terrain and vegetation cover seems to be related to the sheep's anti-predatory strategy. More females ($n = 140$) and yearlings ($n = 62$) occurred where continuous habitat and permanent water was available, which confirms the importance of the Sierra Santa Isabel for breeding and recruitment of bighorn sheep in the Baja California Peninsula. The vegetation index derived from satellite imagery measured only the phenological stage of the plant community, but did not indicate which plant species are present and used by the sheep. However, the index facilitates locating areas with high availability of food and defining sampling areas to monitor populations and carry out censuses.

Key words: bighorn; escape terrain; habitat selection; NDVI; satellite images.

Introducción: El terreno de escape y la cobertura vegetal son dos componentes vitales en el hábitat del borrego cimarrón. La evaluación de la selección que hacen los borregos cimarrones de estos componentes es fundamental para determinar su distribución y el número de organismos que puede soportar un área. A pesar de la importancia de evaluar la selección del hábitat, son pocos los estudios realizados en México sobre el tema. La mayoría de las iniciativas se han enfocado en monitoreos poblacionales. La carencia de estudios sobre el hábitat del borrego cimarrón en Baja California no permite pronosticar los posibles efectos del cambio climático (e.g. una reducción en la disponibilidad de alimento como consecuencia de periodos largos sin lluvias ha ocasionado que varias poblaciones de borregos en el desierto se extirpen). Los objetivos de este estudio fueron determinar la disponibilidad del terreno de escape en diferentes categorías de rugosidad del terreno (plano, sierras bajas, cañones y sierras altas). Asimismo, mediante un índice de vegetación, se determinó la disponibilidad de la cobertura vegetal. Se analizó la preferencia de uso y la selección que hace el borrego cimarrón de las variables del hábitat. Se espera que los resultados de este estudio sirvan para la identificación de sitios a fin de manejar y conservar el *Ovis canadensis* y su hábitat en Sierra Santa Isabel, Baja California.

Metodología: Mediante recorridos terrestres efectuados en diferentes estaciones del año (de julio de 2011 a febrero de 2012), se realizaron observaciones directas de borregos cimarrones en dos localidades representativas de la Sierra Santa Isabel. A partir de un modelo de rugosidad del terreno y valores del índice de vegetación derivados de imágenes de satélite Landsat, se determinó el terreno de escape y la cobertura vegetal disponibles. Con la información de uso (frecuencia de observaciones de borregos cimarrones) y la disponibilidad de las variables de hábitat consideradas, se exploró la hipótesis de selección de hábitat, mediante pruebas de Chi Cuadrada y construcción de intervalos de confianza de Bonferroni.

Resultados: Los sitios con mayor disponibilidad de terreno de escape fueron seleccionados principalmente por grupos de hembras y añeros ($\chi^2 = 9.83, P < 0.05$), mientras que grupos de adultos de ambos sexos seleccionaron sitios con una menor disponibilidad. En el periodo de sequía, los borregos cimarrones seleccionaron los sitios con baja cobertura vegetal ($\chi^2 = 11.58, P < 0.05$), y durante el periodo de lluvias en solo una de las localidades de estudio seleccionaron los sitios con mayor cobertura vegetal ($\chi^2 = 8.72, P < 0.05$). En el periodo de poslluvias, no se encontró una relación entre la cobertura vegetal y la distribución del borrego cimarrón.

Discusión y conclusiones: La selección que hace el borrego cimarrón del terreno de escape y de la cobertura vegetal posiblemente se relaciona con su estrategia antidepredadora. El mayor registro de hembras ($n = 140$) y añeros ($n = 62$), aunado al hábitat no fragmentado y a la disponibilidad de agua permanente, confirman la importancia de Sierra Santa Isabel para la reproducción, crianza y reclutamiento del borrego cimarrón en Baja California. Los índices de vegetación derivados de imágenes de satélite miden solo el estado fenológico de la comunidad vegetal, pero no determinan qué especies se hallan presentes ni cuáles son utilizadas por el borrego cimarrón. No obstante, los índices de vegetación facilitan la identificación de áreas con una alta disponibilidad de alimento, información útil para definir sitios de muestreo previos a los monitoreos poblacionales de esta especie.

Palabras clave: borrego cimarrón; imágenes de satélite; NDVI; selección de hábitat; terreno de escape.

Introducción

El conocimiento del uso y de la selección del hábitat posee importantes implicaciones para explicar la distribución de los ungulados silvestres y nos permite diferenciar entre la disponibilidad y la calidad de diferentes hábitat (Manly *et al.* 2002). Dicha Información resulta esencial para establecer acciones de manejo, como reintroducciones, translocaciones, conservación, aprovechamiento y establecimiento de áreas protegidas (Araujo y Williams 2000).

El borrego cimarrón es un buen ejemplo para investigar los mecanismos de selección del hábitat, debido a que se trata de una especie oportunista en la búsqueda de su forraje y requiere una diversidad topográfica y paisajes escarpados para detectar y evadir a sus depredadores (Valdez y Krausman 1999). La relación de estos componentes del hábitat con el borrego cimarrón también se ha utilizado para explicar la segregación sexual. Algunos estudios encuentran una correlación directa entre la disponibilidad del terreno de escape y el tamaño poblacional de esta especie (Holl 1982; Bleich *et al.* 1997; Divine *et al.* 2000; Mckinney *et al.* 2003). De tal forma, la evaluación de la selección que hace el borrego cimarrón del hábitat es fundamental para determinar la distribución y el número de organismos que puede soportar un área (Brewer *et al.* 2014).

A pesar de la importancia de evaluar las preferencias de hábitat del borrego cimarrón, son pocos los estudios realizados en México, y la mayoría se ha enfocado en monitoreos poblacionales

(Sandoval *et al.* 2014). La carencia de estudios sobre el hábitat del borrego cimarrón en Baja California no permite pronosticar los posibles efectos del cambio climático (*e. g.* la reducción en la disponibilidad de alimento como consecuencia de periodos largos sin lluvias, reducción que ha sido una de las causas de extinción local y extirpación de poblaciones de borrego cimarrón en zonas áridas; Epps *et al.* 2004). Los objetivos de esta investigación fueron: 1) Determinar la disponibilidad del terreno de escape, para lo que se utilizó un modelo de rugosidad del terreno en cuatro categorías (plano, sierras bajas, cañones y sierras altas). 2) Evaluar la disponibilidad de la cobertura vegetal mediante un Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que en estudios recientes ha sido útil para explicar la distribución de ungulados silvestres en zonas áridas, *e. g.* el venado bura (Marshall *et al.* 2006), el impala (VanBommel *et al.* 2006) y el borrego cimarrón (Sesnie *et al.* 2012; Hoglander *et al.* 2015), y 3) Analizar las preferencias de uso y la selección que hace el borrego cimarrón de las variables del hábitat. Esta es la primera evaluación de preferencia de hábitat del borrego cimarrón en Baja California. Se espera que los resultados de este estudio sirvan para la identificación de sitios a fin de manejar y conservar el *Ovis canadensis* y su hábitat en Sierra Santa Isabel, Baja California.

Material y métodos

Área de estudio. La investigación se realizó en la Sierra Santa Isabel, localizada en la región central de Baja California (30.460° N, -115.191° W y 29.950° N, -114.757° W; Figura 1). La Sierra se caracteriza por contar con el mayor hábitat continuo para el borrego cimarrón en el estado (2,072.45 km²). Asimismo, es la que presenta el mejor grado de conservación. Se ha estimado un tamaño poblacional entre 300 - 400 ejemplares (DeForge *et al.* 1993; Martínez-Gallardo y Eaton-González 2008; Martínez 2011; Lee *et al.* 2012).

En la Sierra, se localizan dos ecorregiones: por un lado, la parte baja del Desierto de Colorado en los valles y lomeríos cercanos al Golfo de California, donde las principales especies vegetales son *Larrea tridentata*, *Fouquieria splendens*, *Agave deserti*, *Psoralea argophylla*, *Olneya tesota* y *Prosopis* sp.; por otro lado, el Desierto Central, que corresponde a la mayor parte de la Sierra; allí, las principales especies son *Ambrosia dumosa*, *Prosopis microphylla*, *Bursera microphylla*, *Fouquieria columnaris*, *Cercidium microphyllum* y *Pachycereus discolor* (González-Abraham *et al.* 2010). El clima es semicálido, con 28 °C de temperatura media anual. La precipitación media anual en las serranías cercanas al Golfo de California es menor a 50 mm; en cambio, en la parte central y norte de la sierra, la precipitación oscila entre los 100 y 150 mm (SMN 2013). Los principales depredadores del borrego cimarrón en la Sierra Santa Isabel son el puma (*Puma concolor*), el gato montés (*Lynx rufus*), el coyote (*Canis latrans*) y el águila real (*Aquila chrysaetos*).

Localización de borregos cimarrones. Se seleccionaron dos localidades para observar a los borregos cimarrones, con un área de 10 x 10 km cada una. La primera, Los Hemes, se localiza en la región central de Sierra Santa Isabel. Dicha localidad se caracteriza por ser accesible y cuenta con una tinaja principal con agua la mayor parte del año. La altitud oscila entre 600 y 900 metros, y los rasgos topográficos son cañones y planicies en las partes altas. La segunda, El Zamora, se ubica en el sur de la Sierra. Es la localidad con mayor disponibilidad de agua para la fauna silvestre. Se caracteriza por tener cañones y cumbres a las que solo se puede acceder a pie (Figura 1). Estas localidades fueron seleccionadas debido a que son frecuentadas por los borregos cimarrones, dada su posibilidad de acceder a ellas en diferentes épocas del año y porque los dueños de los terrenos lo autorizan.

Mediante recorridos terrestres de 10 km de longitud efectuados en diferentes estaciones del año (julio del 2011 a febrero del 2012). Se realizaron observaciones directas de borregos cimarrones individuales o en grupos, en tres periodos: sequía (julio a septiembre), lluvias (octubre a diciembre) y poslluvias (diciembre a febrero). Los tres periodos corresponden aproximadamente

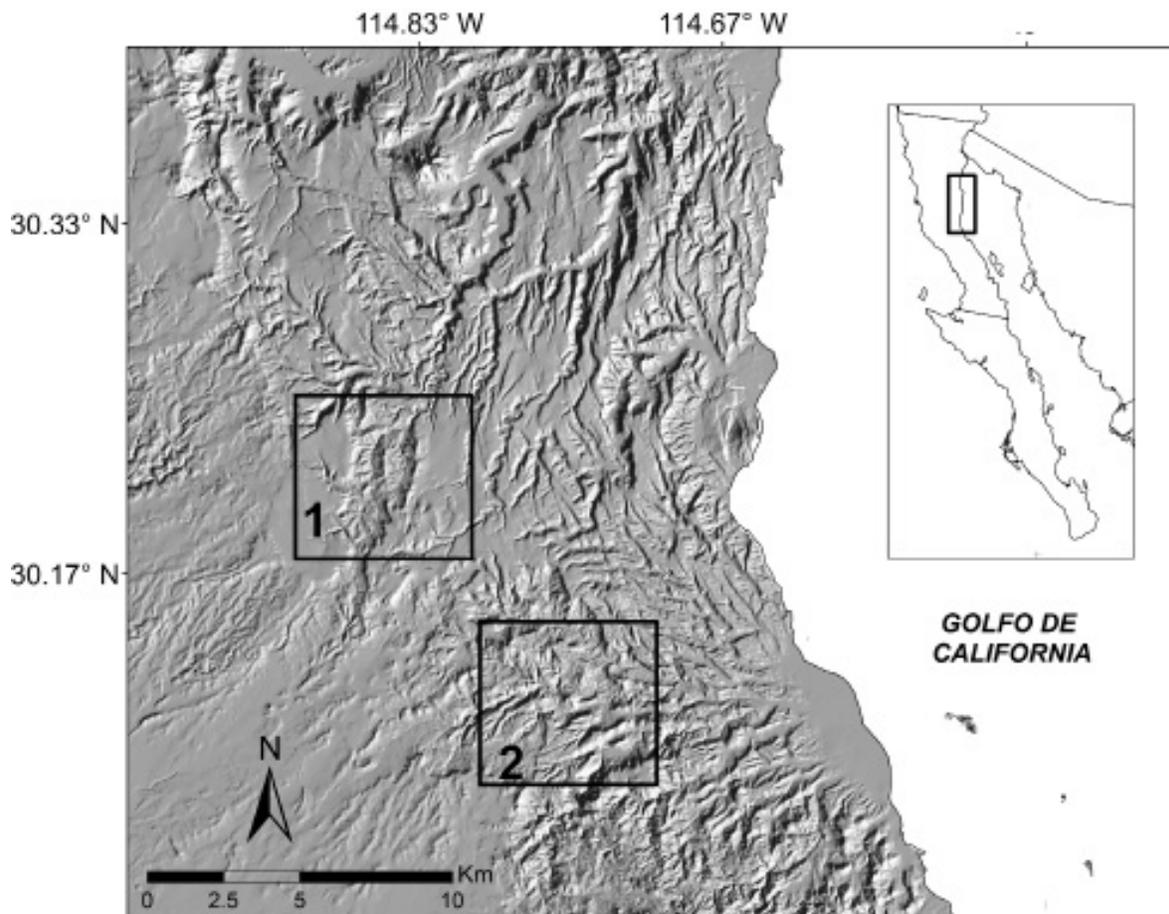


Figura 1. Localidades de estudio en Sierra Santa Isabel, Baja California. Los cuadros en negro representan las áreas de monitoreo del borrego cimarrón. Los Hemes (1) y El Zamora (2).

a las temporadas de segregación sexual, apareamiento y crianza (Rubin *et al.* 2000). Durante ocho días, en cada periodo y recorriendo los mismos transectos (cuatro en total), dos equipos de tres personas realizaron por separado búsquedas y observaciones directas de borregos cimarrones. Utilizaron binoculares 10 x 40. La colecta de datos se realizó a lo largo de cinco horas en la mañana (7:00 a 12:00) y cuatro en la tarde (14:00 a 18:00).

En cada observación individual o de grupos de borregos cimarrones, los observadores acudieron al sitio para ubicarlo espacialmente con un GPS. La edad y género de los borregos se estableció con base en la descripción propuesta por Monson y Summer (1980), quienes definen cuatro clases de edad para los machos, considerando el tamaño del cuerpo y el tipo de cuernos: Clase I (cuernos con un cuarto de curvatura) con edades entre 2 y 3 años. Clase II (cuernos con un medio curvatura), con edades entre tres y seis años. Clase III (el cuerno con tres cuartos de curvatura), y Clase IV (el cuerno con curvatura completa y la punta generalmente desgastada; puede superar la órbita ocular) para borregos cimarrones con edades superiores a los seis años. Las hembras se clasificaron en jóvenes (cuernos con inicio de curvatura), con edades entre uno y dos años, y adultas (cuernos largos con curvatura en forma de L), con edades mayores a los dos años. Por último, se nombró añero de ambos sexos a borregos cimarrones con edades menores a un año. En ellos era visible el inicio del crecimiento del cuerno, pero no resultó claro definir su sexo.

Terreno de escape. Por medio del portal del Servicio Geológico de Estado Unidos (USGS), se

obtuvo un modelo digital de elevación (MDE). El modelo fue adquirido durante la misión SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) y se ubica en el path 38 y row 39, con una resolución espacial de 30 metros para cada píxel. El MDE se procesó en el programa ArcGis 10 (ESRI 2010) y se implementó un algoritmo para calcular el índice de rugosidad del terreno (IRT) en lenguaje Python, siguiendo la metodología propuesta por Riley *et al.* (1999).

Los valores de IRT son equivalentes a la cantidad de terreno de escape disponible en el área de distribución del borrego cimarrón. Se obtuvieron a partir de un análisis de vecindario en una matriz de renglones y columnas. Cada celda (píxel) dispone de un valor de altitud procedente del MDE. A partir de la celda central, se calcula la dispersión de elevaciones con sus celdas vecinas. Las unidades de medida del IRT se expresan en metros de diferencia de cota entre puntos distantes entre sí (Riley *et al.* 1999).

Con base en los valores obtenidos del IRT y en clasificaciones realizadas previamente por Álvarez-Cárdenas *et al.* (2009) y Gilad *et al.* (2013), se definieron cuatro categorías de rugosidad del terreno con los siguientes intervalos: plano con cerros bajos 0 - 15; poco rugoso con sierras bajas 16 - 30; sierras medianas con cañones 31 - 45, y sierras altas con cañones para valores mayores a 45. Los números corresponden a valores del IRT.

Cobertura vegetal. Mediante el portal USGS, se obtuvo tres imágenes de satélite Landsat-TM (path 38 y row 39) con una resolución espacial de 30 metros. Las fechas de adquisición fueron las siguientes: 7 de septiembre de 2011 (periodo de sequía), 16 de noviembre de 2011 (periodo de lluvias) y 12 de febrero de 2012 (periodo de poslluvias). Las imágenes fueron procesadas y co-registradas, utilizando el programa ENVI 4.7 (EXELIS 2012).

Para cada localidad se calculó un Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), considerado como uno de los mejores estimadores de cobertura vegetal mediante sensores remotos (Purevdorj *et al.* 1998; Pettoreli 2013). A los valores de NDVI se les aplicó la corrección radiométrica propuesta por Guyot y Gu (1994), recomendable para imágenes del sensor TM en ecosistemas áridos. Esta corrección se describe mediante la siguiente ecuación: $NDVI = IRC - 0.801 \times R \div IRC + 0.801 \times R$.

IRC y R indican la reflectividad del píxel en la banda del infrarojo cercano y del rojo para el sensor TM. Los valores positivos cercanos a 1 indican una mayor cobertura vegetal, mientras que los valores de 0 y negativos se relacionan con una baja cobertura y con suelo desnudo.

Se establecieron tres categorías de cobertura vegetal para cada imagen, a partir del valor de NDVI de cada píxel calculado con el módulo *statistics* en ENVI 4.7 (EXELIS 2012). El tercio inferior corresponde a la categoría baja; el tercio intermedio, a la categoría media, y el tercio superior, a la categoría alta (VanBommel *et al.* 2006).

Las categorías de cobertura vegetal para cada imagen se importaron al programa ArcGis 10 (ESRI 2010). Con la herramienta de estadística focal (*Focal Statistics*), se obtuvo la categoría de cobertura vegetal en aproximadamente una hectárea, con una matriz de 90 m x 90 m. Esta dimensión espacial representa el área mínima que utilizan los borregos cimarrones para alimentarse (Valdez y Krausman 1999; Sandoval *et al.* 2014).

Análisis estadísticos. Se realizó un análisis de uso-disponibilidad del hábitat, cuyo objetivo fue relacionar los registros de uso de las variables del hábitat por el borrego cimarrón con su disponibilidad en un área específica. Con las herramientas de análisis

espacial (*Spatial Analysis*) en ArcGis 10, se determinó la proporción disponible de las categorías rugosidad y cobertura vegetal. Posteriormente, la información de registros de observación de borregos cimarrones de cada periodo se exportó como un vector de puntos al programa ArcGis 10. Con los módulos de tabulación de área y un análisis aleatorio en el mismo programa, se obtuvo la frecuencia de registros observados y esperados de acuerdo con la disponibilidad de cada categoría del hábitat.

Con la información de uso (frecuencia de observación) y disponibilidad (categorías de rugosidad y NDVI), se exploró la hipótesis de selección de hábitat, la cual establece que cuando el recurso tiene una frecuencia de utilización proporcional a su disponibilidad, se utiliza al azar y se define como uso. En cambio, la selección se refiere a la preferencia de un recurso; es decir, su frecuencia de utilización está por encima de su disponibilidad.

Para probar la hipótesis, se realizó una prueba Chi Cuadrada entre los valores de las frecuencias de uso observadas y esperadas, de acuerdo con la proporción disponible de las categorías de hábitat. Si no se encuentran diferencias significativas entre estos dos valores, se acepta la hipótesis estadística de utilización al azar. En contraste, si se obtienen diferencias significativas, se rechaza la hipótesis de utilización al azar y se continúa con la construcción de intervalos de confianza de Bonferroni al 95 % para determinar el patrón de utilización del recurso en términos de uso, rechazo o selección (Neu *et al.* 1974; Marcum y Loftsgaarden 1980).

Resultados

Se obtuvo un total de 271 observaciones de borregos cimarrones. En el periodo de sequía, se registró 40.2 %; en el periodo de lluvias, 36.5 %, y en poslluvias, el menor registro: 23.2 % (Tabla 1). En la localidad El Zamora, la observación de hembras y añeros representó 79.6 % del total de 162 observaciones. La observación de machos fue de 15.4 %, y de los corderos, de 5.0 %. La mayor proporción añero/hembra fue observada durante poslluvias y fue de 70.5 %, lo que indicó que por cada 10 hembras, siete tenían añero. La mayor proporción macho/hembra se registró durante el periodo de lluvias, con 35.2 %, es decir, por cada macho se observaron tres hembras. La observación de corderos fue baja, con ocho registros durante el periodo de poslluvias (Tabla 1).

En la localidad de Los Hemes, se observaron menos borregos cimarrones que en

Tabla 1. Resultados de los conteos de borrego cimarrón en Sierra Santa Isabel, Baja California.

Localidad	Periodo	Corderos	Añeros	Hembras		Machos				Total
				Jóvenes	Adultas	C1	C2	C3	C4	
Zamora	Sequía	0	15	14	25	0	2	4	2	62
	Lluvias	0	16	8	22	10	1	0	0	57
	Poslluvias	8	12	7	10	4	2	0	0	43
	Subtotal	8	43	29	57	14	5	4	2	162
Hemes	Sequía	0	7	3	21	2	2	7	5	47
	Lluvias	0	8	7	12	3	7	3	2	42
	Poslluvias	2	4	4	7	0	0	2	1	20
	Subtotal	2	19	14	40	5	9	12	8	109

El Zamora, con un total de 109 registros. En el periodo de sequía, se obtuvo 43.1 % ($n = 47$) de los registros, seguido de las lluvias, con 38.5 % ($n = 42$), y el periodo de poslluvias, con 18.3 % ($n = 20$). Se registraron más hembras (49.5 %), seguidas de machos (31.1 %) y añeros (17.4 %). Solo se observaron dos corderos. Esta localidad se caracterizó por un mayor registro de machos clase III y IV, en comparación con la localidad El Zamora (Tabla 1).

Selección del terreno de escape. La selección que hicieron los borregos cimarrones de las categorías de rugosidad resultó significativamente diferente ($\chi^2 = 9.83$, $P < 0.05$). Los terrenos planos fueron los más disponibles para las dos localidades: en Los Hemes, con 45.5 % (4,752 ha), y en El Zamora, con 30.4 % (3,045 ha). Sin embargo, esta categoría fue evitada por los borregos cimarrones en las dos localidades de estudio. En El Zamora, los rebaños de hembras ($n = 86$) y añeros ($n = 43$) seleccionaron las categorías de media y alta rugosidad, que tuvieron disponibles en 40.8 % (4,088 ha; Tabla 2). En Los Hemes, los borregos cimarrones machos jóvenes y adultos ($n = 59$) seleccionaron las categorías poco y medianamente rugosas, que tuvieron disponibles en 43.4 % (4,348 ha, Tabla 2). La categoría de alta rugosidad fue la de menor disponibilidad, con 9.0 % (900 ha). No se observó a ningún borrego cimarrón en esta categoría (Figura 2).

Selección de la cobertura vegetal. Los valores de NDVI obtenidos en la localidad de El Zamora fueron más altos durante los periodos de lluvias (entre 0.20 y 0.40) y poslluvias (entre 0.16 y 0.35). Los valores más bajos se encontraron en el periodo de sequía y fueron menores a 0.10. En Los Hemes, los valores de NDVI más altos se presentaron en poslluvias (0.12 - 0.24) y lluvias (0.11 - 0.24). Los valores más bajos se encontraron en el periodo de sequía (0.01 - 0.12).

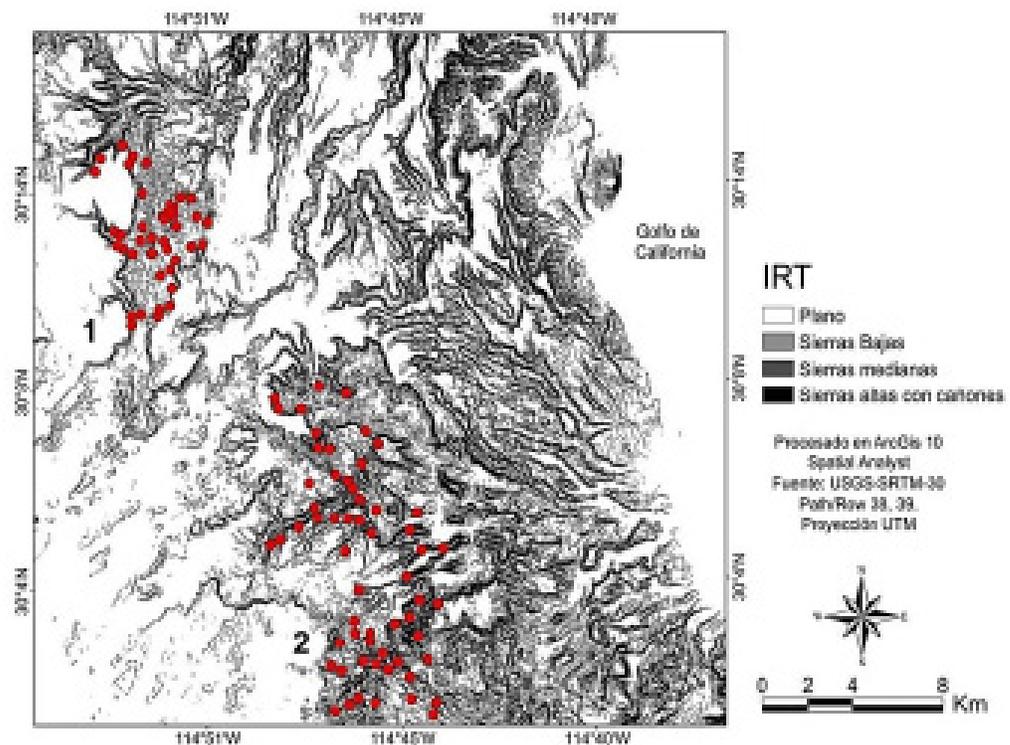


Figure 2. Índice de rugosidad del terreno (IRT) en Sierra Santa Isabel, Baja California. Los círculos en color rojo son las observaciones de los borregos cimarrones en las localidades Los Hemes (1) y El Zamora (2).

En la localidad El Zamora, durante el periodo de sequía, la selección de las categorías de NDVI por los borregos cimarrones fue significativamente diferente ($\chi^2 = 11.58, P < 0.05$) (Tabla 3). La categoría de NDVI bajo estuvo disponible en 12.7 % (1,277 ha) y fue seleccionada por los borregos cimarrones (Tabla 3). La categoría de NDVI medio fue seleccionada en proporción a su disponibilidad, y la categoría NDVI alto fue evitada. Estas categorías, en conjunto, representaron 87.2 % (8,723 ha; Figura 3).

En el periodo de lluvias, también se encontraron diferencias significativas en la selección que realizaron los borregos cimarrones de las categorías de cobertura vegetal ($\chi^2 = 8.72, P < 0.05$). La categoría NDVI alto fue seleccionada por los borregos y tuvo una disponibilidad de 40.8 % (4,083.66 ha). La categoría NDVI medio tuvo la mayor disponibilidad, con 47.1 % (4,717 ha) pero fue evitada. La categoría NDVI bajo representó 11.8 % (1,189 ha) y fue seleccionada en proporción a su disponibilidad (Tabla 3). En el periodo de poslluvias no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($\chi^2 = 2.67, P > 0.05$). Las categorías NDVI bajo, con 25.3 % (2,538 ha), y NDVI alto, con 28.3 % (2,836 ha), fueron similares en su disponibilidad (Figura 4).

En Los Hemes, durante el periodo de sequía, también se encontraron diferencias significativas en la selección que hizo el borrego cimarrón de las categorías de

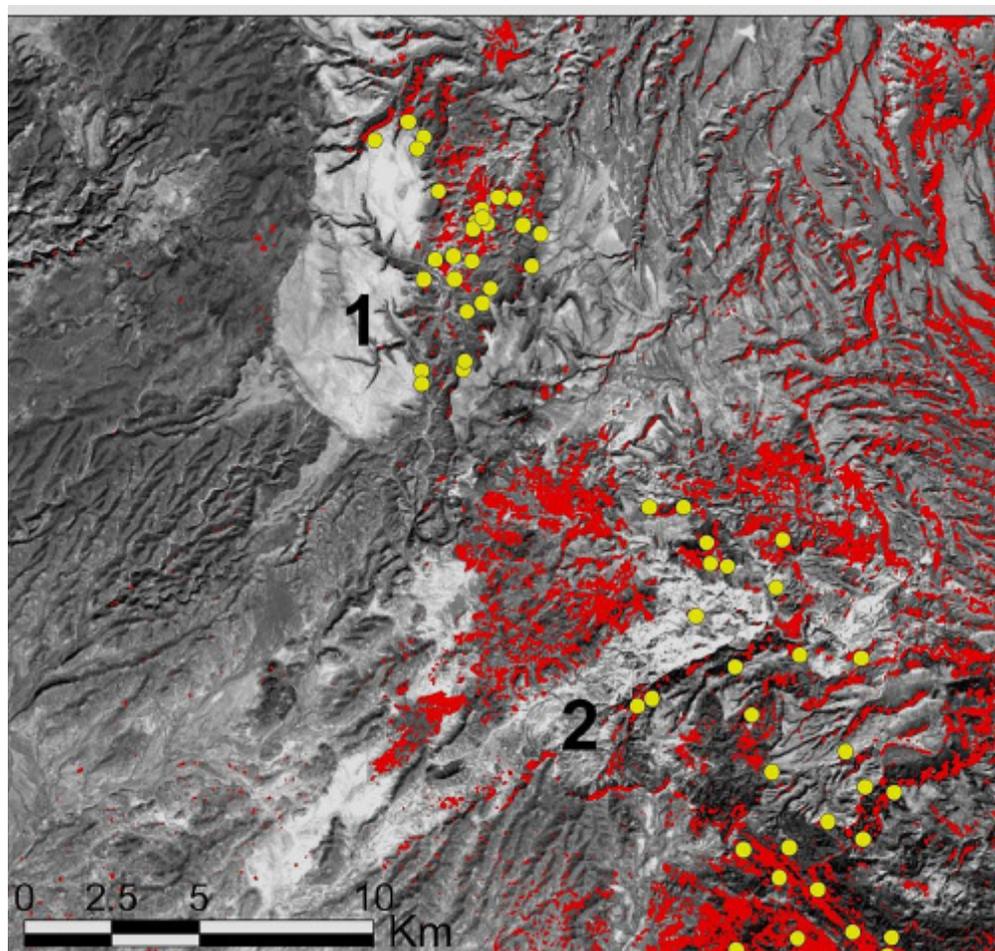


Figura 3. Imagen Landsat TM, bandas 4, 3, 2 en monocromático. Fecha: 7 de septiembre de 2011, Sierra Santa Isabel, Baja California. Los puntos amarillos son los registros de borregos cimarrones en el periodo de sequía en las localidades 1) Los Hemes y 2) El Zamora. En color rojo, se representan las categorías de NDVI bajo que seleccionaron los borregos cimarrones.

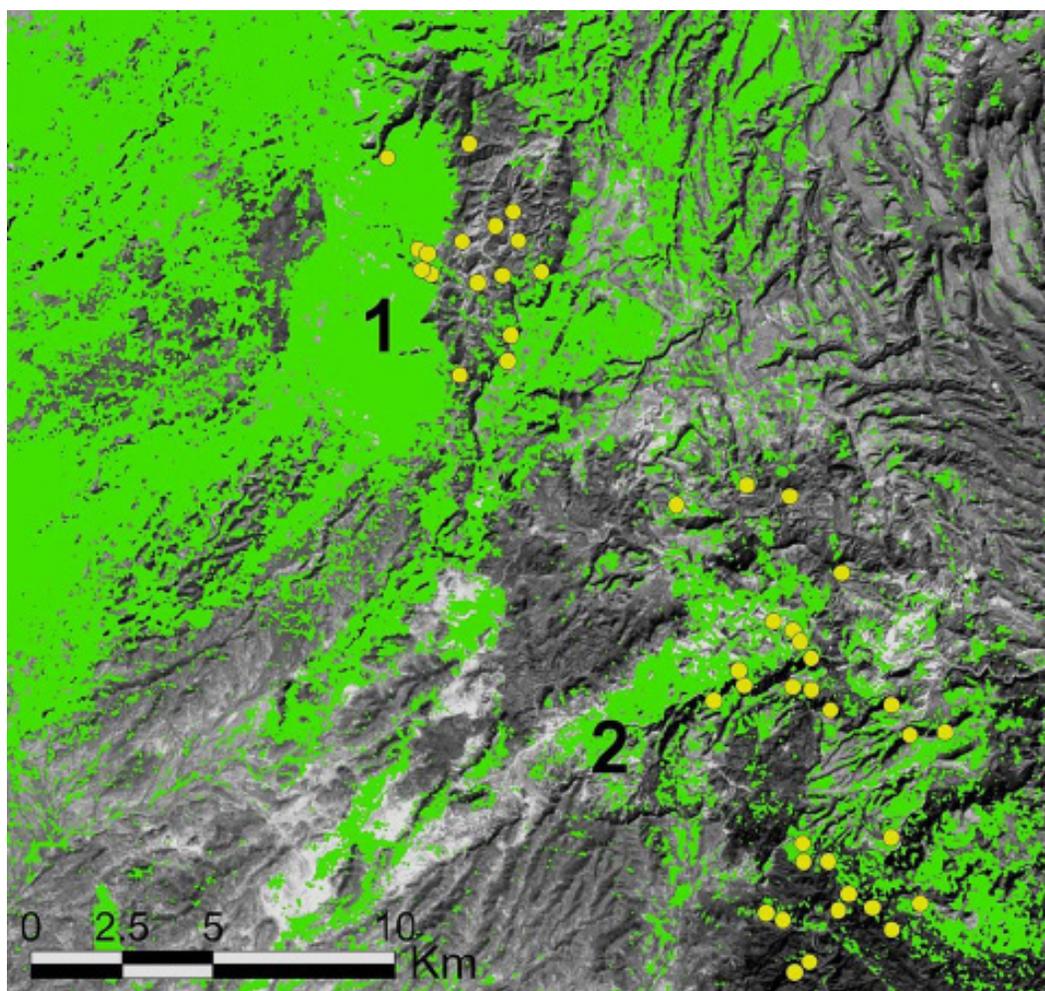


Figura 4. Imagen Landsat TM, bandas 4, 3, 2 monocromático. Fecha: 16 de noviembre de 2011, Sierra Santa Isabel, Baja California. Los puntos amarillos son los registros de borregos cimarrones en el periodo de lluvias en las localidades 1) Los Hemes y 2) El Zamora. En color verde se representa las categorías de NDVI alto que seleccionaron los borregos cimarrones en la localidad El Zamora.

cobertura vegetal ($\chi^2 = 13.88, P < 0.05$). La categoría de NDVI bajo estuvo disponible en 15.4 % (1,540 ha) y fue seleccionada por los borregos cimarrones. Las categorías evitadas por estos borregos fueron: NDVI medio, con 45.6 % (4,560 ha), y NDVI alto, con 39.0 % (3,900 ha; Tabla 4).

Tabla 2. Selección espacial que realizó el borrego cimarrón de las categorías de rugosidad en Sierra Santa Isabel, Baja California. * Valores cuyas diferencias son significativas ($P < 0.05$). Interpretación: "+" los borregos cimarrones prefieren el hábitat; "-" evitan el hábitat; "=" uso de acuerdo con su disponibilidad. Uso observado (UO). Proporción de uso esperado (E). Proporción de uso observada (Pi). Intervalo de Bonferroni (IB). Interpretación estadística (IE).

Localidad	Rugosidad	UO	E	Pi	IB	IE		
Zamora	Plano	2	0.37	0.01	0.27	0.47	Pi < E*	-
	Poco-rugoso	21	0.28	0.12	0.06	0.23	Pi < E*	-
	Media-rugoso	85	0.26	0.52	-0.28	-0.23	Pi > E*	+
	Altamente rugoso	54	0.09	0.33	-0.32	-0.16	Pi > E*	+
Hemes	Plano	13	0.35	0.11	0.13	0.32	Pi > E*	-
	Poco-rugoso	35	0.2	0.32	-0.22	-0.02	Pi > E*	+
	Media-rugoso	61	0.1	0.55	-0.55	-0.36	Pi > E*	+
	Altamente rugoso	0	0.02	0.001	-0.003	0.04	Pi < E	=

Tabla 3. Uso espacial que hizo el borrego cimarrón de las categorías de NDVI en la localidad El Zamora, Baja California. * Valores cuyas diferencias son significativas ($P < 0.05$). Interpretación: "+" los borregos cimarrones prefieren el hábitat; "-" evitan el hábitat; "=" uso de acuerdo con su disponibilidad. Uso observado (UO). Proporción de uso esperado (E). Proporción de uso observada (Pi). Intervalo de Bonferroni (IB). Interpretación estadística (IE).

Periodo	NDVI	UO	E	Pi	IB	IE		
Sequía	Bajo	37	0.4	0.62	-0.38	-0.04	Pi > E *	+
	Medio	23	0.42	0.37	-0.12	0.21	Pi < E	=
	Alto	2	0.17	0.03	0.04	0.23	Pi < E *	-
Lluvias	Bajo	1	0.08	0.017	-0.007	0.13	Pi < E	=
	Medio	12	0.38	0.21	0.011	0.32	Pi < E *	-
	Alto	44	0.54	0.77	-0.390	-0.06	Pi > E *	+
Poslluvias	Bajo	0	0.04	0.0	-0.02	0.10	Pi < E	=
	Medio	20	0.34	0.46	-0.34	0.09	Pi > E	=
	Alto	23	0.62	0.53	-0.13	0.30	Pi < E	=

En el periodo de lluvias también se encontraron diferencias significativas en la selección que hicieron los borregos de las categorías de cobertura vegetal ($\chi^2 = 17.10$, $P < 0.05$). La categoría de NDVI bajo fue seleccionada por los borregos cimarrones y tuvo una disponibilidad de 18.0 % (1,800 ha). Por el contrario, la categoría NDVI medio se usó en proporción a su disponibilidad, y estuvo disponible en 37.0 % (3,700 ha). La categoría de NDVI alto fue evitada y estuvo disponible en 45.0 % (4,500 ha). En el periodo de poslluvias no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la selección que hicieron los borregos cimarrones de las categorías de cobertura vegetal ($\chi^2 = 1.96$, $P > 0.05$; Tabla 4).

Discusión

En Sierra Santa Isabel, los borregos cimarrones seleccionaron las categorías del índice de rugosidad del terreno (IRT), que correspondieron a sierras medianas y altas con cañones. En cambio, las categorías de rugosidad plana fueron evitadas en las dos localidades de estudio. Estas diferencias en la selección de la rugosidad del terreno sugieren que la distribución de los borregos cimarrones se relaciona con la disponibilidad del terreno de escape. Los sitios con mayor rugosidad aparentemente son más seguros para las hembras y añeros, mientras que los sitios planos, con menor rugosidad, son evitados.

Estos resultados son consistentes con los registrados en la Sierra del Viejo, en Sonora (Tarango 2000), y en la Sierra del Mechudo, en Baja California Sur (Álvarez-Cárdenas *et al.* 2001). Se observó un mayor número de hembras y añeros en los sitios con mayor rugosidad, en comparación con sitios planos o con baja rugosidad. Dichas sierras son similares en topografía y elevación a la Sierra Santa Isabel. Previamente se registró que la disponibilidad de terreno de escape es el principal factor que determina la distribución del borrego cimarrón (Bleich *et al.* 1997; Bangs *et al.* 2005; Sappington *et al.* 2007; Schroeder *et al.* 2010; Sandoval *et al.* 2014; Hoglander *et al.* 2015).

Aunque en estudio no se realizaron estimaciones poblacionales, la mayoría de las observaciones de borregos cimarrones se presentó en las categorías de mayor

Tabla 4. Selección espacial que realizó el borrego cimarrón de las categorías de NDVI en la localidad Los Hemes, Baja California. * Valores cuyas diferencias son significativas ($P < 0.05$). Interpretación: "+" los borregos cimarrones prefieren el hábitat; "-" evitan el hábitat; "=" uso de acuerdo con su disponibilidad. Uso observado (UO). Proporción de uso esperado (E). Proporción de uso observada (Pi). Intervalo de Bonferroni (IB). Interpretación estadística (IE).

Periodo	NDVI	UO	E	Pi	IB	IE		
Sequía	Bajo	25	0.18	0.54	-0.54	-0.15	Pi > E*	+
	Medio	12	0.54	0.25	0.07	0.49	Pi < E*	-
	Alto	10	0.28	0.21	-0.12	0.25	Pi < E	=
Lluvias	Bajo	17	0.1	0.40	-0.49	-0.11	Pi > E*	+
	Medio	18	0.34	0.42	-0.30	0.13	Pi > E	=
	Alto	7	0.56	0.16	0.19	0.59	Pi < E*	-
Poslluvias	Bajo	0	0.08	0	-0.03	0.19	Pi < E	=
	Medio	9	0.48	0.45	-0.29	0.35	Pi < E	=
	Alto	11	0.44	0.55	-0.43	0.21	Pi > E	=

rugosidad. Wilson (1968) menciona que a medida en que se incrementa la cobertura rocosa, resulta mayor la probabilidad de avistamiento de borregos. Divine *et al.* (2000) y McKineey *et al.* (2003) concluyen que existe una correlación directa entre el tamaño de la población y el terreno de escape disponible. Sin embargo, en la localidad de Los Hemes, los borregos cimarrones evitaron los terrenos con mayor rugosidad. En consecuencia, no puede generalizarse que en todos los sitios se encontrará una correlación entre terreno de escape y el tamaño de la población.

La selección de los sitios usados por el borrego cimarrón varió estacionalmente en relación con la cobertura vegetal. En el periodo de sequía, estos animales seleccionaron los sitios que aparentemente poseen menor disponibilidad de alimento (menor cobertura vegetal de acuerdo con los valores del NDVI), pero con alta rugosidad en su terreno. Por lo tanto, son más seguros para los borregos cimarrones (Hansen 1980; Krausman *et al.* 1999). Lo anterior sugiere que, para el borrego cimarrón, en el periodo de sequía es más importante seleccionar sitios que ofrezcan mayor posibilidad para escapar y con buena visibilidad para detectar a los depredadores en la distancia, aunque se tenga menor disponibilidad de alimento. Estos resultados son similares a los encontrados en otros estudios de selección del hábitat, donde se reporta que durante el periodo de sequía en los terrenos rugosos y escarpados hay una reducción del forraje disponible como consecuencia de altas temperaturas y ausencia de precipitación (Festa-Bianchet 1988; Andrew *et al.* 1999; Hoglander *et al.* 2015).

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado para otras especies de ungulados silvestres, como el *Odocoileus hemionus* (Marshal *et al.* 2006), *Damaliscus lunatus* (Bro-Jørgensen *et al.* 2008), *Procapra gutturosa* (Mueller *et al.* 2008) y *Aepyceros melampus* (VanBommel *et al.* 2006). Estas especies también dependen de la visibilidad para la detección de sus depredadores y seleccionan hábitats con valores similares de NDVI a los obtenidos en este estudio. No obstante, algunos estudios sobre hábitos alimentarios y preferencias del borrego cimarrón por asociaciones vegetales en zonas áridas, reportan que durante el periodo de sequía se presentan lluvias ocasionales que promueven el crecimiento de especies herbáceas, como *Lupinus excubitus*, *Lotus scoparius*, *Cyperus squarrosus*, *Dalea bicolor* y *Drymaria holosteoides*, preferidas

por el borrego cimarrón (Fish y Wildlife Service 2000; Martínez y Galindo 2001). Sin embargo, se ha registrado que durante el periodo de sequía los borregos prefieren el consumo de suculentas (Warrick y Kraumsan 1989; Tarango *et al.* 2002).

A causa de su tamaño y distribución dispersa, las especies vegetales de herbáceas y cactáceas no son detectadas por el sensor TM del satélite Landsat. En consecuencia, se trata de una limitante del método para investigar aspectos de ecología del forrajeo, *e. g.* la identificación de especies palatables para el borrego cimarrón.

En el periodo de lluvias, en la localidad de El Zamora, los grupos de añeros y hembras seleccionaron la categoría de NDVI alto, que indica mayor disponibilidad de forraje. Se ha considerado como posible que la disponibilidad del forraje (estimada por NDVI) sea el factor que más influye en la distribución espacial del borrego cimarrón durante el periodo de lluvias (Hoglander *et al.* 2015).

En Los Hemes sucedió lo contrario: los borregos cimarrones volvieron a seleccionar las categorías de baja cobertura vegetal y evitaron los sitios con alta cobertura vegetal que estaban localizados en sitios planos. Lo anterior contrasta con lo reportado en las poblaciones de borrego cimarrón en Sonora, donde los machos, durante el periodo de lluvias, seleccionan los sitios con mayor cobertura vegetal en lomeríos y zonas poco escarpadas. Lo anterior aparentemente los expone a sus depredadores (Tarango 2000).

En el periodo de poslluvias no encontramos una relación entre la distribución de los borregos cimarrones y la cobertura vegetal estimada por NDVI. Esto puede deberse a que el alimento se halla disponible de forma homogénea y, por consiguiente, no hay una selección por alguna de las categorías de NDVI; *e. g.* la distribución del venado bura en los desiertos de California tras el periodo de lluvias no se correlaciona con una mayor disponibilidad de forraje estimada por el NDVI (Marshall *et al.* 2006).

Al parecer, la selección que realiza el borrego cimarrón de la cobertura vegetal en Sierra Santa Isabel no se relaciona con los sitios con alta cobertura vegetal, que indican una mayor disponibilidad de alimento. Lo anterior tiene sentido, ya que se ha encontrado que los borregos tienden a evitar sitios con una alta cobertura, pues obstruye su visibilidad y no permite detectar a sus depredadores en la distancia (Valdez y Krausman 1999; Tarango *et al.* 2002).

El NDVI, a diferencia de otros índices, tiene la ventaja de ser compatible con diferentes sensores, lo que facilita la investigación en diferentes escalas (Pettorelli 2013). Por ejemplo, el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), con píxeles de resolución espacial de 1 km², permite explorar la selección que hace un animal del hábitat en una escala geográfica. Con otros sensores, como MODIS (píxeles de 250 m) y Landsat (píxeles de 30 m), es posible analizar la selección del hábitat de una especie en un ámbito local (*e. g.* la sierra de este estudio).

Esta metodología de evaluación de la preferencia del borrego cimarrón por un hábitat puede replicarse en las diferentes áreas de distribución natural de la especie; principalmente, por la disponibilidad de modelos digitales de elevación provenientes de la misión SRTM para Norteamérica (USGS 2010). La resolución espacial de estos modelos (píxeles de 20 y 30 m) ha sido útil para estudiar el uso-selección que realiza el borrego cimarrón del hábitat en diferentes investigaciones (Bangs *et al.* 2005; Sappington *et al.* 2007; Gilad *et al.* 2013; Villepique *et al.* 2015). Asimismo, estos modelos y las imágenes de satélite de diferentes sensores se hallan disponibles de forma gratuita (www.glovis.usgs.gov) y es posible obtener imágenes históricas de

los últimos 25 años, o bien actuales, como las provenientes del sensor Landsat 8 OLI (Operational Land Image).

Agradecimientos

Agradecemos a las siguientes personas e instituciones: a F. Gomis, E. Espinoza, R. Duarte, J. Sánchez, A. Guevara, I. Tafoya y A. Robles, por su ayuda en campo; al laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del CIBNOR, en particular a J. Rivera Rosas; a CONACYT, por la beca (205965) otorgada a J. G. Escobar Flores; al Desert Bighorn Council, por el apoyo económico mediante la beca Hansen-Wells; a los propietarios de las UMAS El Volcán, Santa María y Rancho Tafoya, por permitirnos el acceso a sus predios; a M. Delgado y P. Peña, por sus sugerencias al manuscrito; al editor del resumen en inglés, I. L. Fogel, y a los tres revisores anónimos por sus valiosos comentarios, que ayudaron a mejorar la calidad de este trabajo.

Literatura citada

- ÁLVAREZ-CÁRDENAS, S., I. GUERRERO-CÁRDENAS, P. GALINA-TESSARO, Y S. GALLINA.** 2001. The variables of physical habitat selection by the desert bighorn sheep (*Ovis canadensis weemsi*) in the Sierra del Mechudo, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Arid Environments* 49:357–374.
- ÁLVAREZ-CÁRDENAS, S., P. GALINA-TESSARO, S. DÍAZ-CASTRO, I. GUERRERO-CÁRDENAS, A. CASTELLANOS-VERA, Y E. MESA-ZAVALA.** 2009. Evaluación de elementos estructurales del hábitat del borrego cimarrón en la Sierra del Mechudo, Baja California Sur, México. *Tropical Conservation Science* 2:189–203.
- ANDREW, N. G., V. C. BLEICH, Y P. V. AUGUST.** 1999. Habitat selection by mountain sheep in the Sonoran Desert: implications in the United States and Mexico. *California Wildlife Conservation Bulletin* 12:1–17.
- ARAUJO, M. B., Y P. H. WILLIAMS.** 2000. Selecting areas for species persistence using occurrence data. *Biological Conservation* 96:331–345.
- BANGS, P. D., P. KRAUSMAN, K. E. KUNDEL, Y Z. D. PARSON.** 2005. Habitat use by desert bighorn sheep during lambing. *European Journal of Wildlife Research* 51:178–184.
- BAILEY, J. A.** 1992. Managing bighorn habitat from a landscape perspective. *Biennial Symposium of the North American Wild Sheep and Goat Council* 8:49–57.
- BLEICH, V., R. T. BOWYER, Y J. D. WEHAUSEN.** 1997. Sexual segregation in mountain sheep: resources or predation? *Wildlife Monographs* 134:1–50.
- BREWER C. E., V. C. BLEICH, J. A. FOSTER, T. HOSCH-HEBDON, D. E. MCWHIRTER, E. M. ROMINGER, M. W. WAGNER, Y B. P. WIEDMANN.** 2014. Bighorn sheep: Conservation Challenges and Management Strategies for the 21st Century. Wild sheep Working Group, Western Association of Fish and Wildlife Agencies. Cheyenne, EE. UU.
- BRO-JØRGENSEN, J., M. E. BROWN, Y N. PETTORELLI.** 2008. Using the satellite-derived normalized difference vegetation index (NDVI) to explain ranging patterns in a lek-breeding antelope: the importance of scale. *Oecologia* 158:177–182.
- DEFORGE, J. R., S. D. OSTERMAN, D. TOWEILL, P. CYROG, Y E. M. BARRETT.** 1993. Helicopter surveys of Peninsular bighorn sheep in northern Baja California. *Desert Bighorn Council Transactions* 37:24–28.
- DIVINE, D. D., D. W. EBERT, Y C. L. DOUGLAS.** 2000. Examining desert bighorn habitat using 30-m and 100-in elevation data. *Wildlife Society Bulletin* 28:986–992.

- EPPS, C. W., D. R. McCULLOUGH, J. D. WEHAUSEN, V. C. BLEICH, Y J. L. RECHEL.** 2004. Effects of climate change on population persistence of desert-dwelling mountain sheep in California. *Conservation Biology* 18:102–113.
- ESRI.** 2010. ArcGis Desktop 10. Environment System Research. Institute. Redlands, EE. UU.
- EXELIS.** 2012. ENVI Desktop 4.7. Visual information solutions, Inc. Colorado, EE. UU.
- FESTA-BIANCHET, M.** 1988. Seasonal range selection in bighorn sheep conflicts between forage quality, forage quantity, and predator avoidance. *Oecologia* 75:580–586.
- FISH Y WILDLIFE SERVICE.** 2000. Recovery Plan for bighorn sheep in the Peninsula Ranges, California. Fish and Wildlife Service. Portland, EE. UU.
- GILAD, O., X. BEN WU, Y F. ARMSTRONG.** 2013. Assessing the feasibility for reintroducing desert bighorn sheep to Guadalupe mountains national park: habitat, migration corridors and challenges. *Applied Geography* 41: 96–104.
- GONZÁLEZ-ABRAHAM, C., P. P. GARCILLÁN, Y E. EZCURRA.** 2010. Ecorregiones de la Península de Baja California: una síntesis. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 87:69–82.
- GUYOT, G., Y X. F. GU.** 1994. Effect of radiometric corrections on NDVI determined from SPOT-HRV and Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment* 49:169–180.
- HANSEN, C. G.** 1980. Physical characteristics. Pp. 64–79 en *The desert bighorn: its life history, ecology, and management* (Monson, G., y Summer, eds). University of Arizona Press. Tucson, EE. UU.
- HOGLANDER, C., B. G. DICKON, S. S. ROSENSTOCK, Y J. J. ANDERSON.** 2015. Landscape models of space use by desert bighorn sheep in the Sonoran Desert of southwestern Arizona. *The Journal of Wildlife Management* 79:77–91.
- HOLL, S. A.** 1982. Evaluation of bighorn sheep habitat. *Desert Bighorn Council Transactions* 26:47–49.
- KERR, J. T., Y M. OSTROVSKY.** 2003. From space to species: ecological applications for remote sensing. *Trends in Ecology and Evolution* 18:299–305.
- KRAUSMAN, P. R., A. V. SANDOVAL, Y R. C. ETCHBERGER.** 1999. Natural history of desert bighorn sheep. Pp. 139–191 en *Mountain sheep of North America* (Valdez, R., y P. R. Krausman, eds). University of Arizona Press. Tucson, EE. UU.
- LEE, R.** 2003. A review of recent wild sheep surveys in Baja California Sur, México. *Desert Bighorn Council Transactions* 47:40–46.
- LEE, R., G. R. MARTÍNEZ, J. ZATARAIN, Y J. F. ESCOBAR.** 2012. Observations of distribution and abundance of bighorn sheep in Baja California, México. *California Fish and Game* 98:51–59.
- MANLY, B. F. L., L. McDONALD, D. THOMAS, T. L. McDONALD, Y W. P. ERICKSON.** 2002. Resource selection by animals: statistical design and analysis for field studies. Klumer Academic Publishers. New York, EE. UU.
- MARTÍNEZ, G. R.** 2011. Muestreo terrestre y aéreo de la población de borrego cimarrón en Baja California. Pp 24–35 en *Estrategia Estatal para la conservación y el manejo sustentable del borrego cimarrón en Baja California*. Secretaría de Protección al Ambiente, Gobierno de Baja California, México.
- MARTÍNEZ-GALLARDO, R., Y R. EATON-GONZÁLEZ.** 2008. Estatus de la conservación del Borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) en Baja California, México. Pp. 661–674 en *Avances en los estudios de los mamíferos de México II* (Lorenzo, C., E. Espinoza, y J. Ortega, eds). Sociedad Mexicana de Mastozoología, San Cristóbal de las Casas, Chiapas. México.
- MARTÍNEZ, G. R., Y E. M. GALINDO.** 2001. Feeding habits of bighorn sheep (*Ovis canadensis cremnobates*) in San Pedro Mártir Sierra, Baja California, México. *Desert Bighorn Council Transactions* 44: 111–123.

- MARCUM, C. L., Y D.O. LOFSTGAARDEN.** 1980. A non-mapping technique for studying habitat preferences. *Journal of Wildlife Management* 44:963–968.
- MARSHAL, J. P., V. C. BLEICH, P. R. KRAUSMAN, M. L. REED, Y N. G. ANDREW.** 2006. Factors affecting habitat use and distribution of desert mule deer in an arid environment. *Wildlife Society Bulletin* 34:609–619.
- MCKINNEY, T., S. R. BOE, Y J. C. DEVOS JR.** 2003. GIS-based evaluation of escape terrain and desert bighorn sheep populations in Arizona. *Wildlife Society Bulletin* 1229–1236.
- MONSON, G., Y L. SUMMER.** 1980. *The desert bighorn: Its life history, ecology and management.* The University Arizona Press. Tucson, EE. UU.
- MUELLER, T., K. A. OLSON, T. K. FULLER, G. B. SCHALLER, M. G. MURRAY, Y P. LEIMGRUBER.** 2008. In research of forage: predicting dynamic habitats of Mongolian gazelles using-satellite-based estimates of vegetation productivity. *Journal of Applied Ecology* 45:649–658
- NEU, C., C. BYERS, Y J. PEEK.** 1974. A technique for analysis of utilization availability data. *Journal of Wildlife Management* 38:541–545.
- PUREVDORJ, T. S., R. TATEISHI, T. ISHIYAMA, Y Y. HONDA.** 1998. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing* 19:3519–3535.
- PETTORELLI, N.** 2013. *The normalized difference vegetation index.* Oxford University Press. New York, EE. UU.
- RILEY, S. J., S. D. DEGLORIA, Y R. ELLIOT.** 1999. A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences* 5:23–27.
- RISENHOOVER, K. L., Y J. A. BAILEY.** 1985. Foraging ecology of mountain sheep: implications for habitat management. *Journal of Wildlife Management* 68:993–999.
- RUBIN, E. S., W. M. BOYCE, Y V. C. BLEICH.** 2000. Reproductive strategies of desert bighorn sheep. *Journal of Mammalogy* 81:769–786.
- SANDOVAL, A. V., R. VALDEZ, Y A. T. ESPINOZA.** 2014. El borrego cimarrón en México. Pp. 475–501 en *Ecología y Manejo de Fauna Silvestre* (Valdez, R., y J. A. Ortega, eds). Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México, México.
- SAPPINGTON, J., K. M. LONGSHORE, Y D. B. THOMPSON.** 2007. Quantifying landscape ruggedness for animal habitat analysis: a case study using bighorn sheep in the Mojave Desert. *The Journal of Wildlife Management* 71: 1419–1426.
- SCHROEDER, C. A., R. T. BOWYER, V. C. BLEICH, Y T. R. STEPHENSON.** 2010. Sexual segregation in Sierra Nevada Bighorn Sheep *Ovis canadensis sierrae*: Ramifications for Conservation. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 42:476–489.
- SESNIE, S. E., B. G. DICKSON, S. S. ROSENSTOCK, Y J. M. RUNDALL.** 2012. A comparison of Landsat TM and MODIS vegetation indices for estimating forage phenology in desert bighorn sheep (*Ovis canadensis nelsoni*) habitat in the Sonoran Desert, EE. UU. *International Journal of Remote Sensing* 33:276–286.
- SMN.** 2013. Servicio Meteorológico Nacional. Climatología estadística. Estación 2043 San Agustín, Ensenada, Baja California. Fecha de consulta 12 marzo del 2013. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx//climatologia/Diarios/2043.txt>.
- TARANGO, L. A.** 2000. *Desert bighorn sheep in México.* Dissertation, University of Arizona. Tucson, EE.UU.
- TARANGO, L. A., P. R. KRAUSMAN, R. VALDEZ, Y R. M. KATTING.** 2002. Research observation: desert bighorn sheep diets in northwestern Sonora, Mexico. *Journal of Range Management* 55:530–534.

- VALDEZ, R., y P. R. KRAUSMAN.** 1999. Description, distribution, and abundance of mountain sheep in North America. Pp. 1–22 en Mountain sheep of North America (Valdez, R., y P. R. Krausman, eds). University of Arizona Press. Tucson, EE.UU.
- VANBOMMEL, F. P., I. HEITKONING, G. F. EPEMA, S. RINGROSE, C. BONYONGO, y E. M. VEENENDAAL.** 2006. Remotely sensed habitat indicators for predicting distribution of impala (*Aepyceros melampus*) in the Okavango Delta, Botswana. *Journal of Tropical Ecology* 22:101–110.
- USGS.** 2010. U.S. Geological Survey. Shuttle Radar Topography Mission, <http://srtm.usgs.gov/index.php>. Consultada 12 de febrero del 2012.
- VILLEPIQUE, J. T., B. M. PIERCE, V. C. BLEICH, A. ANDIC, y R. T. BOWYER.** 2015. Resource selection by an endangered ungulate: A test of predator–Induced Range Abandonment. *Advances in Ecology* 2015:1–19.
- WARRICK, G. D., y P. R. KRAUSMAN.** 1989. Barrel cacti consumption by desert bighorn sheep. *Southwestern Naturalist* 34:483–486.
- WILSON, L. O.** 1968. Distribution and ecology of the desert bighorn sheep in southeastern Utah. Publication 68–5. Utah division of Fish and Game. Salt Lake City, EE. UU.

Summited: April 12, 2015

Review: June 22, 2015

Accepted: July 10, 2015

Associated editor: Rafael Reyna