

Research Article

Evaluación de elementos estructurales del hábitat del borrego cimarrón en la Sierra del Mechudo, Baja California Sur, México

Sergio Alvarez-Cárdenas¹, Patricia Galina-Tessaro¹, Sara Díaz-Castro¹, Israel Guerrero-Cárdenas¹, Aradit Castellanos-Vera¹ y Erika Mesa-Zavala¹

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Mar Bermejo No. 195, Col. Playa Palo de Santa Rita, A.P. 128, La Paz 23090, Baja California Sur, México.

Email: salvarez04@cibnor.mx

Resumen

La pérdida y fragmentación del hábitat ponen en riesgo de aislamiento y extinción local a especies con poblaciones pequeñas, como la de *Ovis canadensis weemsi* Goldman, 1937, en la Sierra del Mechudo, Baja California Sur, México. Por tanto, es fundamental evaluar las relaciones entre las especies y su hábitat para diseñar programas de manejo y conservación. El objetivo del estudio fue evaluar la selección de elementos estructurales del hábitat determinantes en el comportamiento del borrego cimarrón para evadir la depredación, Índice de Rugosidad del Terreno (IRT) (terreno de escape) y estructura de la vegetación (visibilidad). Se realizó un análisis de uso-disponibilidad de clases de IRT y se midieron altura y cobertura de la vegetación perenne en tres áreas representativas de la Sierra. Se establecieron cinco clases de terreno, encontrando diferencias significativas entre uso y disponibilidad de las mismas, las sierras medianas con cañadas, sierras altas con cañones y sierras altas con cañones pequeños dentro de cañones grandes fueron seleccionadas. La vegetación perenne es esparcida, con promedios de altura de 1.3 m y cobertura de 21%, lo cual indica una visibilidad adecuada para los borregos. Ante el incremento de actividades humanas en la región, es recomendable evaluar el hábitat estructural a lo largo de la Sierra del Mechudo, relacionando IRT y visibilidad con la estacionalidad y el comportamiento de las diferentes clases de borregos; así como ubicar áreas sensibles o críticas para el manejo y conservación, al menos por arriba de los 300 m de elevación.

Palabras clave: *Ovis canadensis weemsi*, Índice de rugosidad, visibilidad, selección de hábitat.

Abstract

Habitat lost and fragmentation can result in an isolated and local extinction risk for small populations like *Ovis canadensis weemsi* Goldman, 1937, in Sierra del Mechudo, Baja California Sur, Mexico. That is why it is important to evaluate the relationship between species and their habitat in order to design management and conservation plans. The object of this study was to evaluate structural elements of the habitat, Land Ruggedness Index (LRI) (escape terrain) and vegetation structure (visibility), which are determinant in anti-predator behavior of bighorn sheep. We made an analysis of use-availability of terrain types according to their LRI, and height and cover were measured from the perennial vegetation in three representative areas from the Sierra. Five different types of terrain were established and significant differences between use and availability were found, medium mountain ranges with ravines, high mountain ranges with canyons, and high mountain ranges with small canyons within big canyons were selected. Perennial vegetation is spaced with an average height of 1.3 m and 21% of cover, which means a good visibility for bighorn sheep. Besides evaluating sheep population and distribution periodically, considering the increase of human activities in the area, it is advisable to evaluate the structural habitat all along the Sierra del Mechudo. By evaluating the LRI, it would be possible to locate sensitive or critical areas that are important for management and conservation of bighorn sheep at least above 300 m in elevation.

Key words: *Ovis canadensis weemsi*, Ruggedness Index, visibility, habitat selection.

Received: 23 September 2008; Accepted 20 January, 2008, Published 25 May, 2009

Copyright: © Alvarez-Cárdenas, S. Galina-Tessaro, P. Diaz-Castro, S., Guerrero-Cárdenas, I., Castellanos-Vera, A. and Mesa-Zavala, E. This is an open access paper. We use the Creative Commons Attribution 3.0 license <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/> - The license permits any user to download, print out, extract, archive, and distribute the article, so long as appropriate credit is given to the authors and source of the work. The license ensures that the published article will be as widely available as possible and that the article can be included in any scientific archive. Open Access authors retain the copyrights of their papers. Open access is a property of individual works, not necessarily journals or publishers.

Cite this paper as: Alvarez-Cárdenas, S. Galina-Tessaro, P. Diaz-Castro, S., Guerrero-Cárdenas, I., Castellanos-Vera, A. y Mesa-Zavala, E. 2009. Evaluación de elementos estructurales del hábitat del borrego cimarrón en la Sierra del Mechudo, Baja California Sur, México. *Tropical Conservation Science* Vol.2 (2): 189-203. Available online: www.tropicalconservationscience.org

Introducción

Conocer las características del hábitat que determinan la distribución y abundancia de las especies es un asunto crucial para el manejo y la conservación de la biodiversidad. La pérdida y fragmentación del hábitat, la caza ilegal y excesiva, y las actividades humanas recreativas e inmobiliarias, son factores que ponen en riesgo la supervivencia de muchas especies de mamíferos [1,2]. A su vez, la fragmentación del hábitat a menudo conduce al aislamiento de poblaciones pequeñas con altas tasas de extinción [1]. Las razas desérticas de borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) que habitan áreas montañosas con vegetación escasa en el suroeste de Estados Unidos y noroeste de México [3], han venido declinando desde el arribo de los europeos, pero esto fue más evidente durante el siglo pasado. Las causas de este declive incluyen principalmente enfermedades, competencia con ungulados domésticos y disturbios humanos.

El borrego cimarrón es uno de los grandes mamíferos silvestres de México y una de las especies más importantes por su alto valor ecológico y económico. En Baja California Sur se distribuye la subespecie *O. c. weemsi* Goldman, 1937 (Fig. 1), considerada la principal especie cinegética del Estado. Sin embargo, la fragmentación del hábitat, la introducción de especies domésticas y la cacería excesiva e ilegal, son algunas de las principales causas de su declinación en gran parte de su distribución [4,5].

El número estimado de borregos en la Sierra del Mechudo en un censo aéreo realizado en la primavera de 1999 fue de 145 animales, con una proporción de machos-hembras-jóvenes-crías de 15:100:18:15 (R. Lee, datos no publicados). Por su parte, censos realizados por la SEMARNAT (no publicados) indican que la población tiende a disminuir.

Fundamental para estudios de ecología animal es evaluar la asociación de una especie con su ambiente, es decir, la variedad de hábitats que ocupan, o sus preferencias de hábitat. En general, los principales componentes del hábitat para la fauna silvestre son: vegetación, topografía, agua libre, fuentes de alimento, competidores, depredadores, parásitos, perturbación humana y clima [6]. Para el borrego cimarrón del desierto, la topografía y la vegetación perenne se reconocen como las principales variables que determinan el aspecto estructural del hábitat [7-9]. La desigualdad o rugosidad de la superficie del terreno es un componente vital del hábitat para especies que generalmente ocupan terrenos escarpados [10,11]. De hecho, este atributo es básico en la evaluación de la calidad del hábitat del borrego cimarrón, ya que está relacionado con el "terreno de escape", i.e., el terreno en el que pueden escapar con mayor facilidad de sus depredadores [3, 12-15]. El borrego cimarrón prefiere áreas abiertas con vegetación baja y alta visibilidad. La vegetación determina la cobertura que proporciona protección y forraje, así como la visibilidad que ofrece el hábitat; aspecto también fundamental en la estrategia para evadir la depredación de los borregos de montaña [9,16].

Además de su valor ecológico y económico, el borrego cimarrón es una especie sujeta a Protección Especial en México [17] y la Sierra del Mechudo representa el límite sur de distribución

de la especie *Ovis canadensis*. No obstante, el conocimiento ecológico necesario para el aprovechamiento sustentable de esta especie es muy escaso, especialmente en Baja California Sur, y esto representa un serio problema para promover la supervivencia a largo plazo de la subespecie *O. c. weemsi*.

El objetivo del estudio fue evaluar los principales atributos del hábitat estructural que le permiten al borrego cimarrón evadir la depredación. Se sabe que el borrego cimarrón selectivamente evita algunas áreas y prefiere otras [18-22]. Si la disponibilidad de una variable del hábitat es menor que la proporción de uso, se considera que la variable es seleccionada por el borrego; mientras que si la disponibilidad de la variable del hábitat es mayor que la proporción de uso, se considera que la variable es evitada. Con base en lo anterior, se realizó un análisis de uso-disponibilidad para conocer la selección de clases de Índice de Rugosidad del Terreno (IRT) el cual es la principal variable del hábitat estructural del borrego cimarrón, determinando si los borregos utilizan las clases de IRT en proporción a su disponibilidad en tres áreas borregueras de la Sierra del Mechudo. Además, se realizó una valoración general de la estructura de la vegetación (altura y cobertura) para establecer la visibilidad para el borrego cimarrón en tres áreas borregueras de la Sierra del Mechudo.



Fig. 1. El borrego cimarrón del desierto (*Ovis canadensis weemsi*) de la sierra del Mechudo, Baja California Sur, México.



Fig. 2. Vista parcial del Cerro Mechudo en la Sierra del Mechudo, Baja California Sur, México.

Área de Estudio

El área de estudio se ubica en la parte sur de la zona montañosa denominada Sierra del Mechudo (Fig. 2), considerada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) dentro de las regiones prioritarias para la conservación en México [23]. Geográficamente se ubica entre el Arroyo el Sauzoso (24° 16' N, 110° 40' O), 25 km al norte de la Ciudad de La Paz, y el Cerro Mechudo (24° 47' N, 110° 43' O) en el extremo norte de la Bahía de La Paz (Fig. 3). La Sierra se distribuye paralela a la costa del Golfo de California. La ladera oriental es empinada y está compuesta de cañones, precipicios y lechos secos de arroyos. La ladera occidental desciende gradualmente hacia el océano Pacífico. La elevación media es de 400 a 500 m, con un máximo de 1,070 m en el Cerro Mechudo.

Para la sierra, se consideran tres tipos de vegetación: 1) matorral espinoso en las partes más altas con especies vegetales como *Pachycormus discolor*, *Lemaireocereus thurberi* y *Opuntia* sp.; 2) matorral inerme en las laderas y cañones dominado por *Lysiloma candida*, *Ruellia californica* y *Fouquieria diguetii*; y 3) matorral inerme-cardonal en las partes más bajas dominados por *Pachycereus pringlei* y *Prosopis* sp. [24]. El agua superficial se encuentra en tinajas, ojos de agua, oquedades entre las rocas y arroyos intermitentes en un gran número de cañones y cañadas que cruzan la sierra hacia al Golfo de California. Algunos cuerpos de agua persisten todo el año.

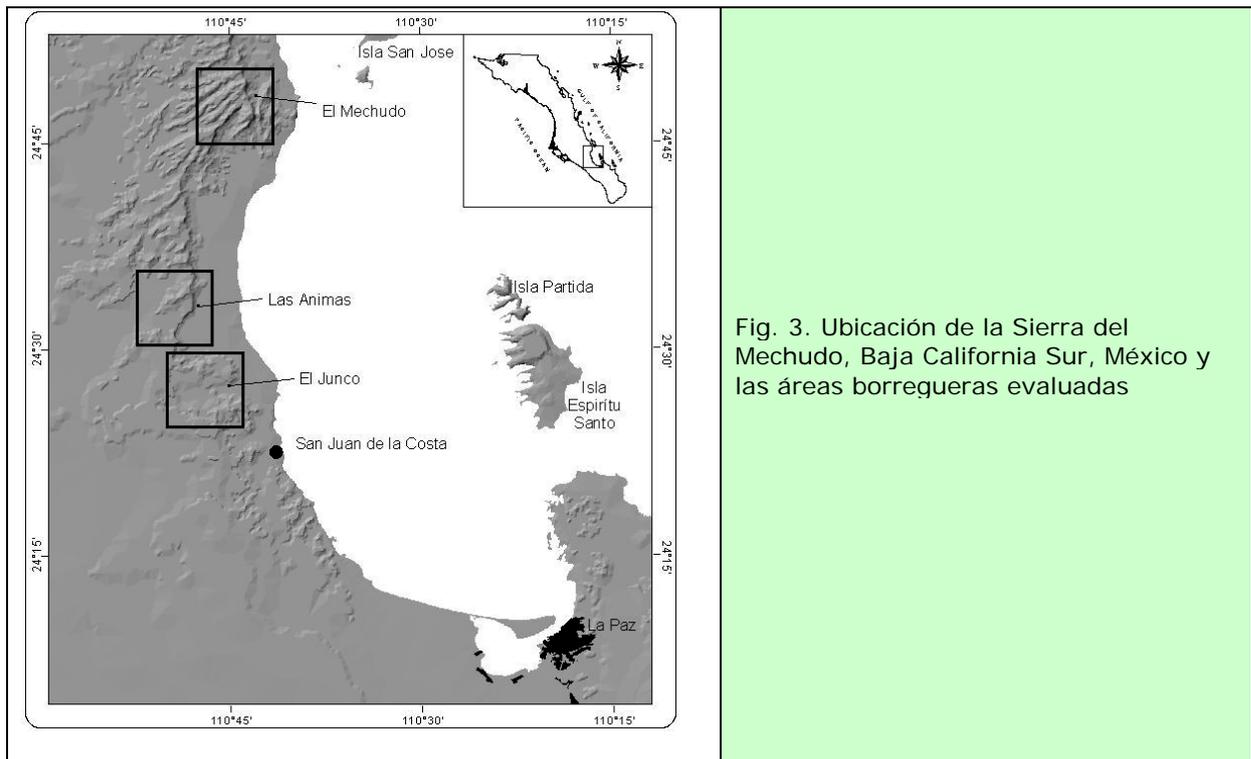


Fig. 3. Ubicación de la Sierra del Mechudo, Baja California Sur, México y las áreas borregueras evaluadas

Métodos

En este trabajo se evalúan las variables del hábitat estructural de mayor importancia para el borrego cimarrón [el Índice de Rugosidad del Terreno (IRT) y la estructura de la vegetación perenne], así como los gradientes de elevación presentes en tres áreas borregueras de 10 x 10 km, conocidas como El Mechudo, Las Animas y El Junco (Fig.3); estas áreas fueron seleccionadas porque son normalmente utilizadas por los borregos [25]. Cada área borreguera fue inicialmente localizada y subdividida en una red con cuadrantes de 1 km² en mapas topográficos 1:50 000, y posteriormente fueron ubicadas espacialmente mediante un sistema de información geográfica (SIG) con el programa ArcView 3.2. A partir de los mapas topográficos se digitalizaron las curvas de nivel para generar un Modelo Digital de Elevación.

Autores como Beasom *et al.* [10] y Ebert y Douglas [15] mencionan que existe una alta correlación entre la pendiente, la longitud total de las líneas o curvas de nivel y la rugosidad de la superficie del terreno. Basado en lo anterior, se calculó un Índice de Rugosidad o escabrosidad del terreno para cada área, tomando en cuenta las curvas de nivel (cotas de elevación) en mapas topográficos a escala 1:50,000. En cada cuadrante de 1 km² se midió la longitud total de las curvas de nivel, ese valor se multiplicó por el número total de líneas en dicha celda y se dividió por el área de la celda. Con los valores obtenidos para cada cuadrante, se establecieron diferentes rangos, los cuales a su vez permitieron establecer y delimitar las clases de terreno según su IRT.

En un estudio previo [25], mediante recorridos terrestres realizados en diferentes estaciones del año (durante dos años), grupos de tres personas efectuaron búsquedas de animales o rebaños en las tres áreas borregueras. Después de cada observación de borregos o grupos de borregos, los observadores acudieron al sitio para ubicarlo espacialmente con GPS. Todos los registros de observaciones fueron ubicados en los mapas para determinar el uso de cada clase de terreno. Aunque no forman parte del análisis de uso-disponibilidad, también se presentan las observaciones georreferenciadas de borregos realizadas en el censo aéreo de 1999 (Lee, R. datos no publicados) en cada área borreguera.

La información sobre uso (frecuencia de observación) y disponibilidad (proporción de cobertura de cada categoría de terreno) fue utilizada para determinar el uso de las clases de IRT de acuerdo con su disponibilidad en cada área borreguera, basándose en los métodos descritos por Neu *et al.* [26], Byers *et al.* [27] y Marcum y Loftsgarden [28], métodos ampliamente utilizados para evaluar la preferencia de hábitat por diferentes ungulados [18, 20, 22, 29].

Para establecer si el uso de las clases de IRT por los borregos fue significativamente diferente a su disponibilidad, se utilizó una prueba de Chi cuadrada χ^2 [26,27]. Cuando se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), se utilizaron el estadístico Z de Bonferroni e intervalos de confianza simultáneos al 95% para determinar la proporción de utilización (P) de los tipos de calidad de hábitat. De esta forma se pudo determinar qué categorías del hábitat son utilizadas significativamente mayor o menor de lo esperado.

De acuerdo con Marcum y Loftsgaarden [28], P_1 es la proporción disponible de una categoría del hábitat (i), y P_2 es la frecuencia de proporción de uso de i categorías del hábitat. Si el intervalo incluye 0, $P_{1i} = P_{2i}$, esa categoría es utilizada en proporción a su disponibilidad (P). Si los puntos del intervalo son positivos $P_{1i} > P_{2i}$, la categoría es utilizada en menor proporción que su disponibilidad, i.e., es evitada (E). Si los puntos son negativos $P_{1i} < P_{2i}$, la categoría es utilizada en mayor proporción que su disponibilidad, i.e., es seleccionada (S).

La estructura de la vegetación se determinó midiendo la altura promedio y el porcentaje de cobertura de la vegetación perenne en 24 transectos (ocho transectos por área borreguera) de 50 m x 10 m, siguiendo el método de Mueller-Dombois y ElleMBERG [30]. También se registró el número de individuos y el número de especies en cada sitio muestreado. Los transectos se localizaron en diferentes ubicaciones donde se observó la presencia de borregos, presentando separaciones en elevación (> 50 m) y/o distancia (> 2 km) según las características de las zonas muestreadas.

Un ANOVA [31] fue utilizado para determinar diferencias ($p < 0.05$) de uso y disponibilidad entre las áreas borregueras y entre las clase de IRT, y diferencias entre las áreas borregueras y entre transectos en cuanto a los atributos de la vegetación analizados.

Resultados

A partir del análisis de las curvas de nivel en mapas topográficos, se obtuvieron cinco intervalos de IRT, con los cuales se definen las características del terreno como sigue:

0 – 20 Plano con cerros bajos.

21 – 50 Sierra baja.

51 – 100 Sierra mediana con cañadas.

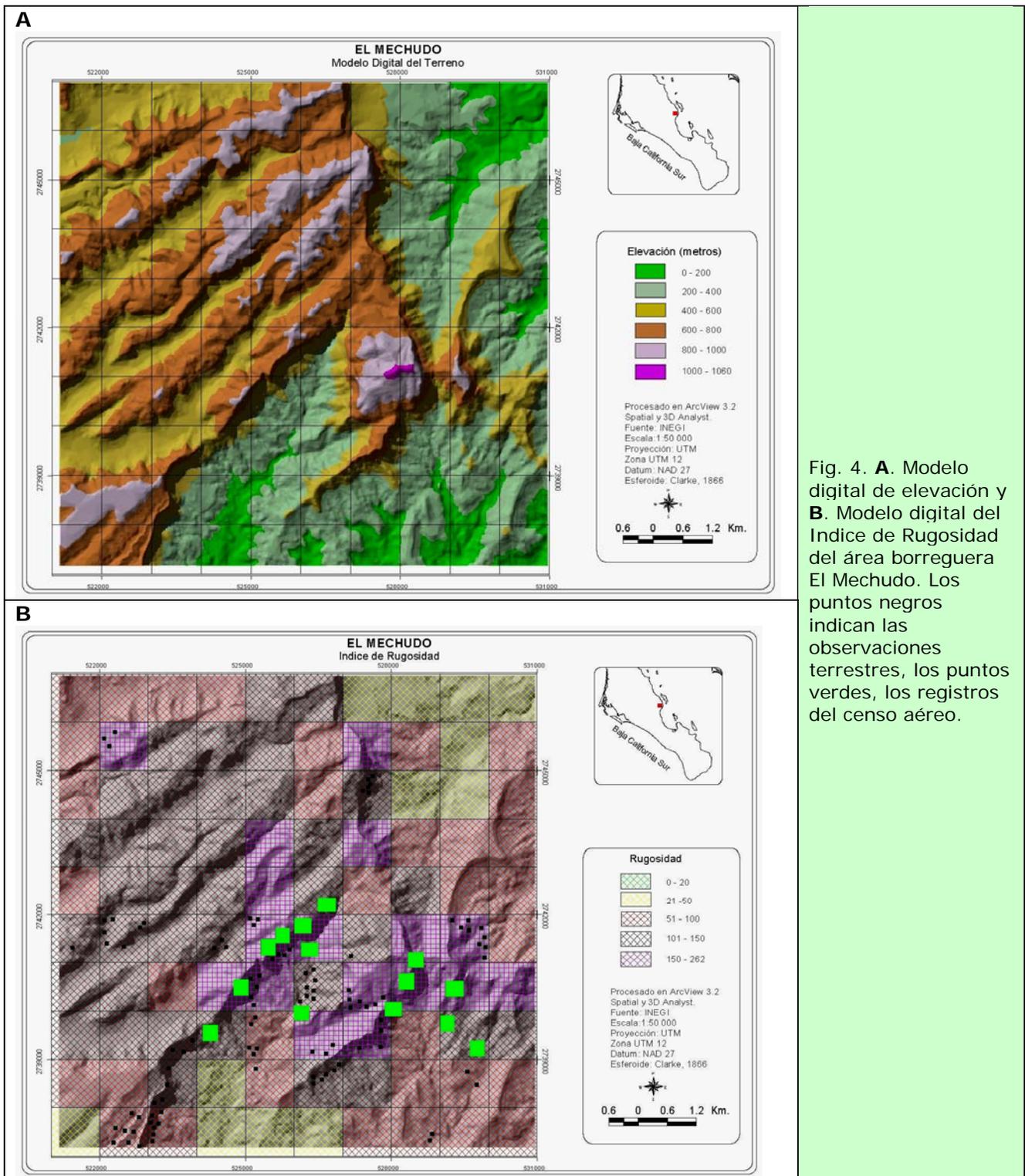
101 – 150 Sierra alta con cañones.

151 - > 200 Sierra alta con cañones pequeños dentro de cañones grandes.

En el Apéndice 1, se muestran la disponibilidad de las cinco clases de IRT en las áreas muestreadas de la Sierra del Mechudo, es decir el número de celdas de 1 km² representadas por cada clase de terreno en las tres áreas borregueras. El conjunto de las tres áreas analizadas da una idea general de la Sierra del Mechudo, la cual conforma principalmente una sierra de mediana a baja, más del 60 % de la superficie evaluada corresponde a tales clases de IRT. Por su parte, solo en el área del Mechudo se presentan los IRT más altos correspondientes a los terrenos más accidentados.

En el Mechudo, se presentan los registros de altitud más elevados, los mayores porcentajes se ubicaron en los rangos de 100-400 m y > 600 m (Fig. 4A). En esta área más del 50% de la superficie (5,400 ha) presenta los mayores IRT (101- > 200), conformando un conjunto de sierras altas con cañones de diverso tamaño (Fig. 4B). El 34% del área presenta un IRT intermedio (51-100), consistente en sierras medianas con cañadas. Las Sierras bajas están poco representadas, y no se presentan terrenos planos.

Las Animas presenta la mayor extensión de tierras bajas y poco accidentadas. El 25% de su superficie (2,500 ha) corresponde a terrenos con elevación < 100 m, pero la mayor parte (61%) se ubica en el rango de 100-400 m, y solo un 1% (100 ha) alcanza alturas > 600 m (Fig. 5A). El 71% (7,100 ha) tiene un IRT bajo (0-50), correspondiendo a sierras bajas y zonas con terreno plano y cerros bajos; el resto, está representado por un IRT intermedio que conforma una sierra mediana con cañadas (Fig. 5B). En esta zona se ubica una pared que corre de norte a sur, donde se localizan numerosas cañadas que son utilizados por los borregos.



En el Junco, el rango de altitud mejor representado se encuentra entre los 100-400 m (7,700 ha), aunque tiene algunas áreas (1,500 ha) en el rango de los 400-600 m. Se presentan pocas tierras bajas < 100 m, y no hay sitios que alcancen más de los 600 m (Fig. 6A). En esta área existen pocos sitios con terreno plano (800 ha), más del 80% del terreno corresponde a sierras bajas (3,600 ha) y a sierras medianas con cañadas (4,500 ha), y una pequeña superficie (1,100 ha) está conformada por sierras altas con cañones (Fig. 6B).

El análisis de X^2 indica que el uso de las categorías de IRT y su disponibilidad difieren significativamente en las tres áreas ($p < 0.05$). En el Apéndice 1, se muestra el número de observaciones de borregos en cada categoría de IRT (uso) y la selección de las clases de terreno por los borregos.

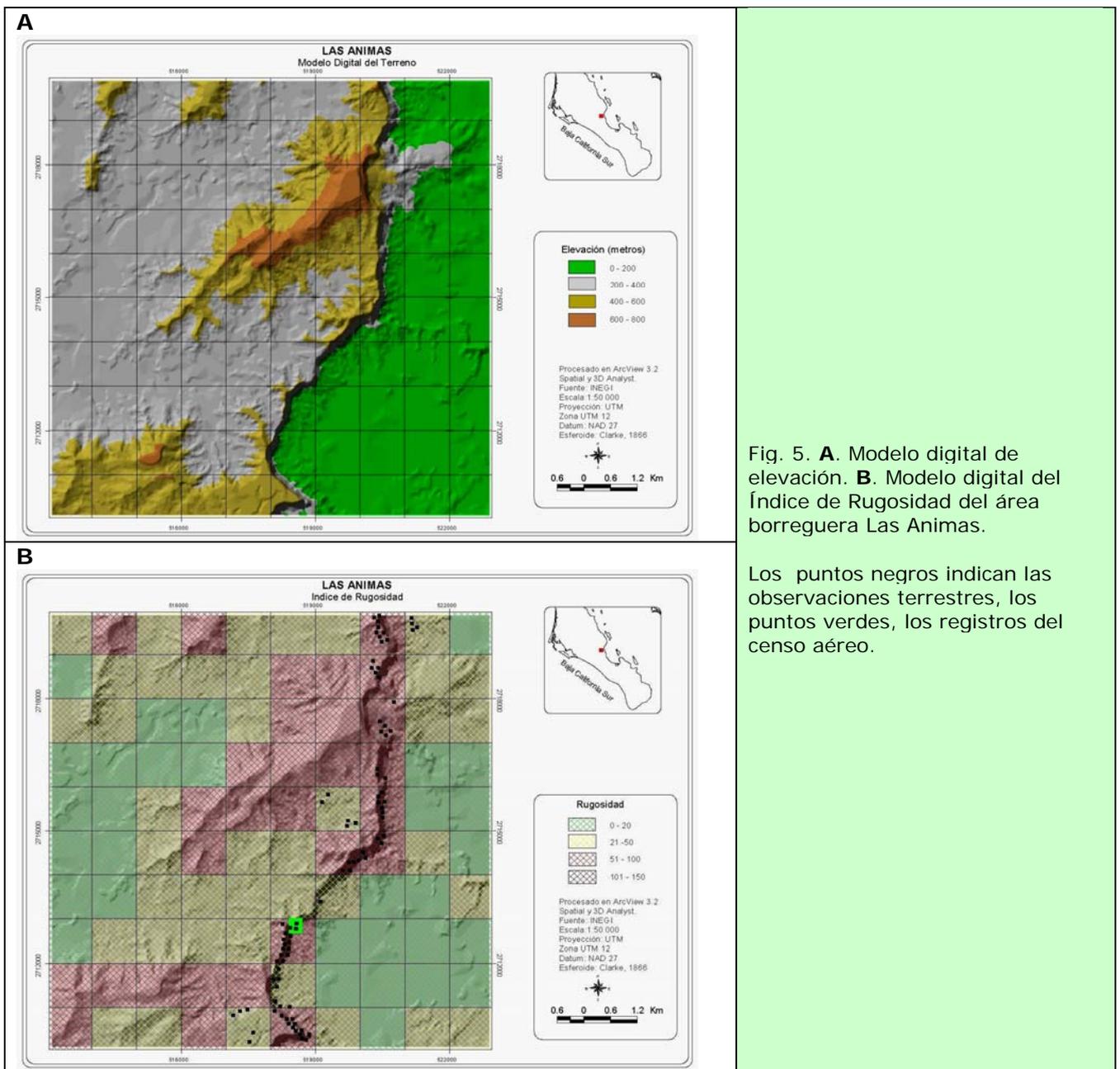


Fig. 5. **A.** Modelo digital de elevación. **B.** Modelo digital del Índice de Rugosidad del área borreguera Las Animas.

Los puntos negros indican las observaciones terrestres, los puntos verdes, los registros del censo aéreo.

En las tres áreas los borregos evitaron los sitios con menor IRT (0-50), terrenos planos, cerros bajos y sierra baja. Por su parte, el mayor rango de IRT (151 > 200) que representa a una sierra alta con cañones pequeños dentro de cañones grandes, estuvo disponible únicamente en el área del Mechudo y fue seleccionado por los borregos; en tanto que los IRT intermedios (51 – 150) registraron un uso en proporción a su disponibilidad en esa área. En las Animas el IRT seleccionado correspondió a la sierra mediana con cañadas, en tanto que en el Junco también hubo selección de ese tipo de terreno, y un uso proporcional a la disponibilidad de la sierra alta con cañones. En general se observa que los borregos se concentran en los IRT superiores en cada área o se encuentran en proporción a su disponibilidad. El ANOVA solo mostró diferencias significativas en el uso entre las clases de IRT ($F = 4.05$, $p = 0.033$), pero no se presentaron diferencias entre la disponibilidad y el uso entre las áreas borregueras.

En el Apéndice 2 se muestran los resultados de las mediciones de la vegetación perenne en cada área borreguera, así como las asociaciones vegetales que definen cada uno de los ocho transectos valorados en cada área. El área del Junco esta dominada por *Fouquieria diguetii* en cada uno de los transectos, con promedios de altura de 1.3 m, y de cobertura de 24.3% entre los ocho transectos. Un transecto presenta valores altos de altura y cobertura. En Las Animas, las especies que dominan más asociaciones vegetales son *Lysiloma candida* (3) y *F. diguetii* (2), con un promedio de altura y porcentaje de cobertura de 1.3 m y 21.3 % respectivamente. En esta área, dos transectos presentan valores relativamente altos de altura y cobertura. En El Mechudo solo *F. diguetii* domina varios transectos (3), mientras que cinco especies diferentes dominan el resto de las asociaciones vegetales obtenidas en el resto de los transectos. En este sitio los valores de altura y cobertura fueron los menores, con promedios de 1.2 m y 16.6 % respectivamente. En general, el promedio entre las tres áreas borregueras fue de 1.25 m de altura y 20.7 % de cobertura de la vegetación perenne. El ANOVA no mostró diferencias significativas entre los sitios y transectos en cuanto a las variables de la vegetación analizadas, con excepción del número de individuos entre las áreas borregueras ($F = 4.21$, $p = 0.036$).

Discusión

La evaluación del hábitat es fundamental para la conservación y el manejo del borrego cimarrón del desierto [32,33] y la distancia al terreno de escape y su disponibilidad son factores fundamentales para que el borrego cimarrón evada a sus depredadores [34,35]. En un estudio previo en la Sierra del Mechudo [25] se evaluó el uso-disponibilidad del hábitat físico, observando que los borregos seleccionaron principalmente laderas de montañas y cañones, con pendientes > 80% y distancias de < 200 m del terreno de escape, aunque algunos animales aislados se localizaron hasta los 500 m durante épocas críticas; resultados similares han sido descritos en evaluaciones del hábitat de diversas poblaciones de borrego cimarrón [15, 36, 37]. Sin embargo, como ha sido señalado [38], la medición de la pendiente no es lo mismo que la medición de la rugosidad de la superficie del terreno. La pendiente es solo una medida superficial de la rugosidad potencial de un área en particular, y en la mayoría de los casos, únicamente se hace la medición del punto en que un animal fue registrado. La medición del terreno de escape de esa forma, no da información acerca de los picos, valles, peñascos, cañones y cañadas que pueden encontrarse en los sitios de ubicación de los animales observados; de igual forma, no permite ubicar con precisión áreas clave, como corredores de desplazamiento o sitios para reintroducción de rebaños [39].

La rugosidad del terreno se considera un componente importante del terreno de escape para el borrego cimarrón y biológicamente relevante en el uso del hábitat [40,41]. En este estudio se aplicó el primer método ampliamente reconocido para obtener un Índice de Rugosidad de la Superficie del Terreno (LSRI siglas en ingles), desarrollado por Beasom *et al.* [10]; y este se relacionó con los registros de presencia de borrego cimarrón en forma individual o en grupo, dentro de los cuadrantes de 1 km² marcados en las tres áreas borregueras. No obstante, se sabe que factores como estacionalidad, clases de edad, sexo y segregación sexual, influyen en los movimientos de los animales, los cuales están condicionados principalmente por la disponibilidad de agua, forraje, y actividades de reproducción y crianza [42].

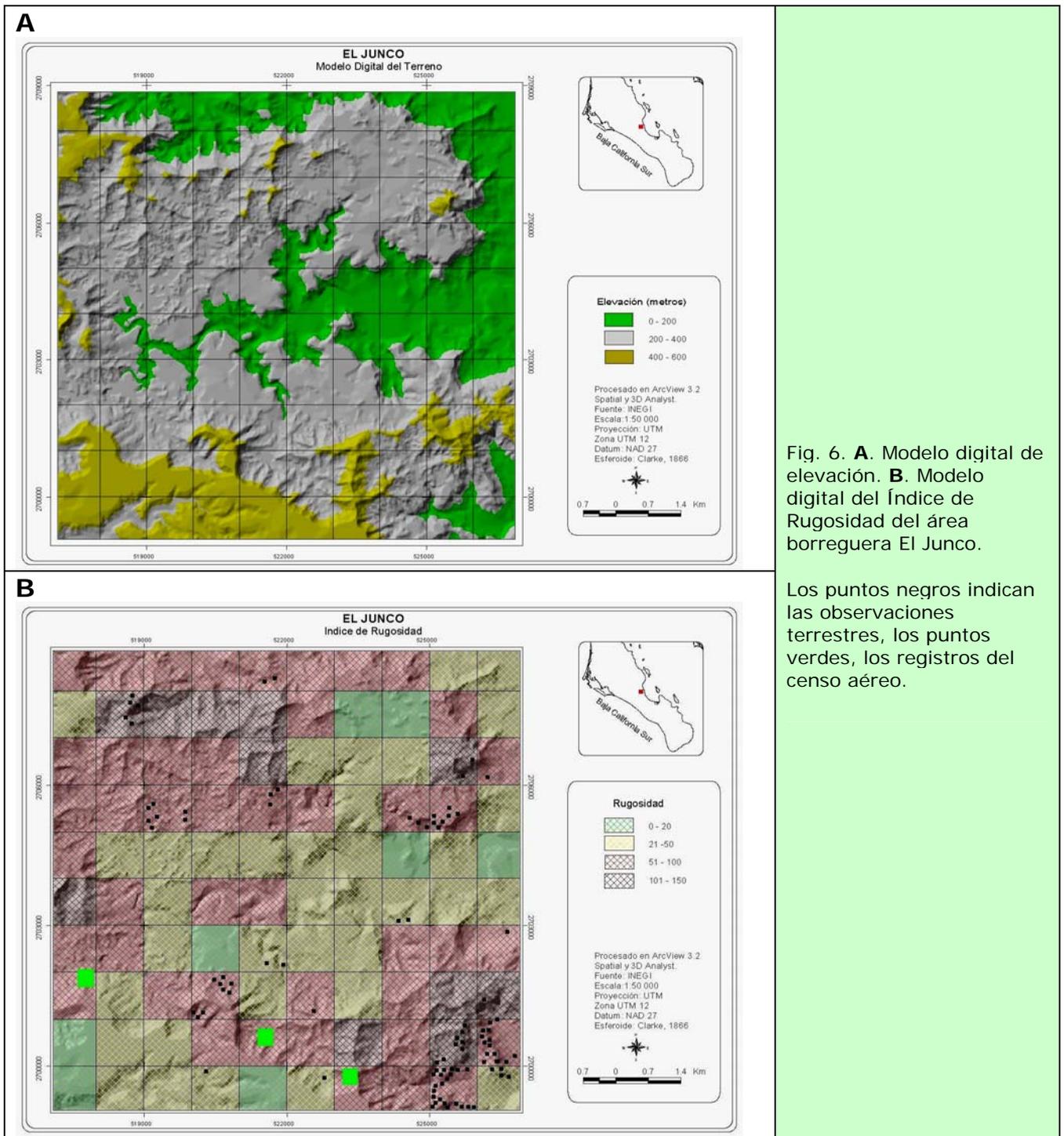


Fig. 6. **A.** Modelo digital de elevación. **B.** Modelo digital del Índice de Rugosidad del área borreguera El Junco.

Los puntos negros indican las observaciones terrestres, los puntos verdes, los registros del censo aéreo.

Implicaciones para la conservación

Los resultados de este estudio son consistentes en parte con otros estudios de uso del hábitat donde se han realizado variaciones sobre este método cuantificando pendientes, LSRI e Índice de Rugosidad del Terreno (IRT) [37, 43] así como evaluaciones combinadas de ambas variables mediante la Medición de Vectores de Rugosidad (VRM siglas en inglés) [40,41]. Los estudios muestran que en algunas localidades la pendiente está más correlacionada con la selección de los borregos, y en otros es la rugosidad el factor determinante, pero ambos son factores importantes en la selección estacional del hábitat y en cambios de hábitat durante épocas críticas o de partos;

la importancia de cada uno está basada por tanto, en las características fisiográficas de cada región montañosa [41].

En este estudio, tomando en cuenta las observaciones terrestres y aéreas, se nota una mayor concentración de borregos en la parte norte de la sierra, lo cual coincide con los mayores IRT (Sierra alta con cañones pequeños dentro de cañones grandes) observados en el área de El Mechudo. Aparentemente, aunque falta realizar la evaluación correspondiente, las áreas borregueras del norte y el sur de la sierra se encuentran conectadas a través de un corredor con IRT intermedios (Sierra mediana con cañadas), localizada en el área de Las Animas, lo que permite el desplazamiento de animales entre las áreas borregueras; este elemento del hábitat es fundamental para la supervivencia de poblaciones aisladas y metapoblaciones [44,45] las cuales son la formas en que comúnmente se encuentra el borrego cimarrón en su área de distribución.

Comparada con otras áreas de distribución del borrego cimarrón del desierto, la Sierra del Mechudo es una sierra mediana a baja. La mayor proporción de rangos de elevación no sobrepasan los 600 m, con excepción del área del Mechudo, donde el Cerro Mechudo se eleva sobre los 1,000 m; a partir de ahí la sierra disminuye en altitud hacia el sur. La sierra se caracteriza por presentar terrenos planos dentro de los primeros metros sobre el nivel del mar, pero se torna abrupta antes de los 100 m. La elevación por sí misma no es un elemento determinante del hábitat del borrego cimarrón del desierto, ya que a lo largo de su distribución puede ser localizado en elevaciones desde 70 a 4,200 m [46], sin embargo, sí forma parte de la estructura del hábitat, y en la Sierra del Mechudo es entre los 200-400 m donde ocurre la mayor presencia de borregos [25]. No obstante, los borregos normalmente realizan movimientos diarios y estacionales dentro de diversos rangos montañosos y de elevación, movimientos semejantes han sido reportados en diversos estudios [42,47].

Debido a que el borrego cimarrón prefiere áreas con vegetación baja y alta visibilidad para la detección de los depredadores [16], la estructura general de la vegetación tiene mayor significado biológico para los borregos que las especies vegetales presentes [42]. Van Dyke *et al.* [48] consideran que los borregos evitan áreas con coberturas >25 -30 % y altura de la vegetación > 60 cm. Por su parte, Olson *et al.* [49] mencionan que sitios con alturas de arbustos y árboles > 1 m, son evitadas por los borregos; sin embargo, a partir de los muestreos realizados en este estudio, podemos decir que comparada con otras áreas en la región, la vegetación perenne de la Sierra del Mechudo es en general escasa, abierta, con poca cobertura y no muy alta. Dado que los muestreos de vegetación fueron realizados en áreas utilizadas por los borregos, podemos establecer que lo esparcido de la vegetación presente en la sierra con un promedio de cobertura de cerca del 21%, favorece una buena visibilidad para el borrego cimarrón, aún con una altura promedio de 1.3 m. En esta evaluación, sólo tres transectos presentaron valores altos, tanto de altura como de cobertura, otros, aunque tuvieron alturas superiores a las establecidas como adecuadas, tuvieron coberturas bajas. En algunos estudios se ha observado que los borregos pueden utilizar sitios con alturas de árboles y arbustos > 1m cuando se desplazan por senderos bien establecidos cercanos al terreno de escape [50,51], a su vez, hábitats abiertos y con buena visibilidad no son utilizados si el terreno de escape no está adecuadamente disponible [42]. También se ha observado que una disminución en la presencia de depredadores puede facilitar el uso de áreas con visibilidad reducida [52].

Ante los efectos ocasionados por la cacería excesiva y la fragmentación y pérdida de hábitat producto de las actividades humanas, la caracterización del hábitat mediante la medición cuantitativa de terreno de escape y de la vegetación, puede ser utilizada por los manejadores del borrego cimarrón como herramientas para ubicar áreas de conservación en la Sierra del Mechudo. Con base en la evaluación de disponibilidad y selección de sitios con rugosidad del terreno y visibilidad adecuados para el borrego cimarrón, a partir de este estudio podemos sugerir áreas clave para conservación y manejo por arriba de 400 m de elevación, donde el Cerro Mechudo es el área más representativa. Dado que los borregos normalmente realizan movimientos intermontanos en busca de áreas adecuadas para reproducción, crianza, alimentación, agua e intercambio genético, éstos normalmente se desplazan por corredores que deben contar con las características de hábitat que les asegure estar a salvo de la depredación; de esta forma,

recomendamos hacer un esfuerzo de evaluación y conservación al menos a partir de los 300 m de elevación y en corredores de movimiento como el del área de las Animas. Se recomienda también la realización de análisis que incluyan relaciones entre las características del hábitat y los movimientos y comportamiento estacional de las distintas clases de borregos.

Agradecimientos

Agradecemos al CIBNOR y al CONACYT por el apoyo otorgado para la realización de las diversas investigaciones en la Sierra del Mechudo, a la CONABIO por el soporte económico otorgado con el proyecto L318. Al Ing. Joaquín Rivera (Laboratorio de SIG del CIBNOR) y a Miguel Domínguez (Herbario del CIBNOR) por su colaboración. Se agradecen los comentarios de dos revisores anónimos a versiones anteriores de este trabajo.

Referencias

- [1] Rosenberg, K. D., Noon, B. R. y Meslow, E. C. 1997. Biological corridors: Form, Function, and Efficacy. *BioScience* 47:677-687.
- [2] Bangs, P. D., Krausman, P. R., Kunkel, K. E. y Parsons, Z. D. 2005. Habitat use by female desert bighorn sheep in Fra Cristobal Mountains, New Mexico, USA. *European Journal of Wildlife Research* 51:77-83.
- [3] Krausman, P.R., Leopold, B. D., Seegmiller, R. F y Torres, S. T. 1989. Relationships between desert bighorn sheep and habitat in Western Arizona. *Wildlife Monograph. The Wildlife Society* 102:1-66.
- [4] Alvarez, T. 1974. Los enemigos del borrego cimarrón. *Bosques y fauna* 11:43-47.
- [5] Monson, G. y L. Summer. Eds.1980. *The desert bighorn: its life history, ecology and management*. The University Arizona Press, Tucson.
- [6] Cooperrider, A.1986. Habitat evaluation systems. In: *Inventory and Monitoring of Wildlife Habitat*. Cooperrider, A. R. Boyd and H. Stuart (Eds). pp 757-776 Bureau of Land Management.
- [7] Ferrier G.J. y Bradley, W.G. 1970. Bighorn habitat evaluation in the Highland Range of Southern Nevada. *Desert Bighorn Council Transactions* 14:66-93.
- [8] Wilson, L.O., Welsh, G., Weaver, R., Brigham, R., Kelly, W, Yoakum, J., Hinks, M, Turner, J. y DeForge, J. 1980. Desert bighorn habitat requirements and management recommendations. *Desert Bighorn Council Transactions*. 24:1-7.
- [9] Krausman, P.R. y Leopold, B.C.. 1986. Habitat components for desert bighorn sheep in the Harquahala Mountains, Arizona. *Journal of Wildlife Management* 50:504-509.
- [10] Beasom, S.L., Wiggins, E. P. y Giardino, J.R. 1983. A technique for assessing land surface ruggedness. *Journal of Wildlife Management* 47:1163-1166.
- [11] Shackleton, D.M., Shank, C.C. y Wikeem, B.M. 1999. Natural history of the Rocky mountain and California bighorn sheep. In: *Mountain sheep of North America*. Valdez, R. y Krausman, P.R. (Eds.), pp 78-138. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- [12] Wakeling, F.B. y Miller, W.H. 1989. Bed site characteristic of desert bighorn sheep in the Superstition mountains, Arizona. *Desert Bighorn Council Transactions* 33:6-8.
- [13] Scott, J., Remington, R. y De Vos, J. Jr. 1990. Numbers, movements, and disease status of bighorn in the Southwestern Arizona. *Desert Bighorn Council Transactions*. 34: 9-13.
- [14] Cunningham, S. y De Vos, J. V. 1992. Mortality of Mountain Sheep in the Black Canyon area of Northwest Arizona. *Desert Bighorn Council Transactions* 36:27-29.
- [15] Ebert, D.W. y Douglas, C.L. 1994. Potential Impacts of the Black Canyon Bridge on Bighorn Sheep: A Reevaluation Using a GIS Habitat Evaluation Model. *Cooperative National Parks Resources Studies Unit. University of Nevada, Las Vegas*. Contrib. No. CPS-UNLV 045-06. 31pp.
- [16] Risenhoover, K. y Bailey, J.A.1985. Foraging ecology of mountain sheep: implications for habitat management. *Journal of Wildlife Management* 49:797-804.

- [17] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2002. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001*. Diario Oficial de la Federación, 6 de marzo de 2002.
- [18] Schoen J.W. y Kirchoff, M.D. 1990. Seasonal habitat use by sitka black-tailed deer on Admiralty Island, Alaska. *Journal of Wildlife Management* 54:371-378.
- [19] Jensen, W. F. 1992. Mule deer habitat use in the North Dakota badlands. *Prairie Naturalist* 24:9-108.
- [20] Armleder, H.M., Waterhouse, M.J., Keisker, D.G. y Dawson, R.J. 1994. Winter habitat use by mule deer in the central interior British Columbia. *Canadian Journal of Zoology* 72:1721-1725.
- [21] Singer, F.J. y Norland, J.E. 1994. Niche relationships within a guild of ungulate species in Yellowstone National Park, Wyoming, following from artificial controls. *National Park Service and Natural Resources Ecology Laborator*, pp 183-1393. *Colorado State University*.
- [22] Crane, K.K., Smith, M.A. y Reynolds, D. 1997. Habitat selection patterns of feral horses in south central Wyoming. *Journal of Range Management* 50:374-380
- [23] Arriaga, L., Espinoza, J.M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. y Loa, E. (Coordinadores). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, (CONABIO) México.
- [24] SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1978. *Baja California Sur*. Carta Sinóptica escala 1:50,000, Carta No. 2.
- [25] Alvarez-Cárdenas, S., Guerrero-Cárdenas, I., Díaz, S., Galina, P. y Gallina, S. (2001). The variables Physical habitat selection by the desert bighorn sheep (*Ovis canadensis weemsii*) in Sierra del Mechudo, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Arid Environments* 49:357-374.
- [26] Neu, C.W., Byers, C.R. y Peek, J.M. 1974. A technique for analysis of utilization availability data. *Journal of Wildlife Management* 38:541-545.
- [27] Byers, C.R., Steinhorst, R.K. Y Krausman, P.R. 1984. Clarification of technique for analysis of utilization-availability data. *Wildlife Society Bulletin* 9: 63-65.
- [28] Marcum, C.L. y Loftsgaarden, D.O. 1980. A non mapping technique for studying habitat preferences. *Journal of Wildlife Management* 44:963-968.
- [29] Fairbanks, W.S., Bailey, J. A. y Cook, R. S. 1987. Habitat use by a low-elevation, semi captive bighorn sheep population. *Journal of Wildlife Management* 51:912-915.
- [30] Mueller-Dombois, D. y ElleMBERG, H. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Willey and Sons, New York.
- [31] Crane, K.K., Smith, M.A. y Reynolds, D. (1997). Hábitat selection patterns of feral horses in Southcentral Wyoming. *Journal of Range Management* 50:374-380
- [32] Cunningham, S. 1989. Evaluation of bighorn sheep habitat. In: *The desert bighorn sheep in Arizona*. Lee, R. M. (Ed), pp135-153. Arizona Game and Fish Department Phoenix, Arizona.
- [33] Andrew, N.G., Bleich, V.C. y August, P. V. 1999. Habitat selection by mountain sheep in the Sonoran Desert: implications for conservation in the United States and Mexico. *California Wildlife Conservation Bulletin* 12:1-30
- [34] Cunningham S. y DE VOS, J. V. 1992. Mortality of Mountain Sheep in the Black Canyon area of Northwest Arizona. *Desert Bighorn Council Transactions* 36: 27- 29.
- [35] Ebert, D.W. y DOUGLAS, C.L. 1994. *Potential Impacts of the Black Canyon Bridge on Bighorn Sheep: A Reevaluation Using a GIS Habitat Evaluation Model*. Cooperative National Parks Resources Studies Unit. University of Nevada, Las Vegas. Contrib. No. CPS-UNLV 045-06. 31pp.
- [36] Smith, T.S., Flinders, J y Win, D. 1991. A Habitat evaluation procedure for Rocky mountain bighorn sheep in the intermountain west, *Great Basin Naturalist* 51:205-225.
- [37] Turner, J. C., Douglas, C.L., Hallan, C. R., Krausman, P. R. y Ramey, R. R. 2004. Determination of critical habitat for the endangered Nelson's bighorn sheep in Southern California. *Wildlife Society Bulletin* 32:427-448
- [38] Ebert, D.W. 1993. *Desert bighorn movements and habitat use in relation to the proposed Black Canyon Bridge Project: Nevada*. M.S. Thesis, Univ. of Nevada, Las Vegas. 172pp.

- [39] McKinney, T., Boe, S. R. y De Vos, J.C. Jr. 2003. GIS-based evaluation of scape terrain and desert bighorn sheep populations in Arizona. *Wildlife Society Bulletin* 31:1229-1236.
- [40] Bangs, P.D., Krausman, P. R., Kunkel, K. E. y Parsons, Z. D. 2005. Habitat use by female desert bighorn sheep in the Fran Cristobal Mountains, New Mexico, USA. *European Journal of Wildlife Research* 77-83.
- [41] Sappington, J.M., Longshore, K. N. y Thompson, D.B. 2005. Quantifying land scape ruggedness for animal habitat analysis: A case study using bighorn sheep in the Mojave desert. *Journal of Wildlife Management* 71:1419-1426.
- [42] Krausman, P.R. y Schakleton, D. M. 2000. Bighorn sheep. In: *Ecology and Management of large mammals in North America*. Demarais, S y Krausman, P.R (Eds.), pp 517-544. Prentice-Hall, Inc.
- [43] Bleich, V.C., Bowyer, R. T. y Wheausen, J. D. 1997. Sexual segregation in mountain sheep: resources or predation ?. *Wildlife Monographs* No. 134: 1-50.
- [44] Krausman, P.R., Torres, S., Ordway, L.L., Hervert J.J., y Brown M. 1985. Diel activity of ewes in the Little Harquahala Mountains, Arizona. *Desert Bighorn Council Transactions* 29:24-26.
- [45] Wakeling, F.B. y Miller, M.H. 1990. A modified habitat suitability index for desert bighorn sheep. In: *Managing wildlife in the Southwest*. Krausman, P.R. y Smith (Eds.), pp 58-66. Arizona Chapter of the he Wildlife Society, Phoenix.
- [46] Krausman P.R., Sandoval, A. V. y Etchberger, R. C. 1999. Natural history of desert bighorn sheep. In: *Mountain sheep of North America*. Valdez R. y Krausman, P. R. (Eds.), pp 139-1991. University of Arizona Press, Tucson.
- [47] Berger, J. 1991. Pregnancy incentives, predation constraints and habitat shifts: Experimental and field evidence for wild bighorn sheep. *Animal Behavior* 41:61-77.
- [48] Van-Dyke, W. A., Sands, A. S., Yoakum, J., Pollenz,, A. y Blasidell, J. 1986. *Wildlife habitats in managed rangelands - The Great Basin of Southeastern Oregon, Bighorn Sheep*. General technical report PNW-159. Bureau of land management. Special edition.
- [49] Olson, D.D., Shannon, J. M., Whiting, J. C., Petersen, S. L., Larsen y Flinders, J. T. (in review). A robust approach to modeling bighorn sheep habitat. *ESRI International User Conference Proceedings, San Diego, Cal. USA*.
http://gis.esri.com/library/userconf/proc08/papers/pap_1573.pdf
- [50] Sandoval, A.V. 1979. *Preferred habitat of desert bighorn sheep in the San Andres Mountains, New Mexico*. M.S. Thesis, Colorado State University, Fort Collins.
- [51] Valdez, E. y Krausman, P. R. Eds. 1999. *Mountain sheep of North America*. The University of Arizona Press, Tucson. .
- [52] Turner, J.C., Douglas, C. L., Hallum, C. R., Krausman, P. R. y Ramey, R. R. 2004. Determination of critical habitat for the endangered Nelson´s bighorn sheep in Southern California. *Wildlife Society Bulletin* 32:427-448.

Apéndice 1. Clases de Índice de Rugosidad del Terreno (IRT) y su selección por el borrego cimarrón en la Sierra del Mechudo.

IRT	Disponibilidad	Uso	Intervalos de confianza	Selección
MECHUDO	<i>n</i> = 100	<i>n</i> = 100		
0 - 20	0	0	--	--
21 - 50	12	0	0.05 , 0.19	E
51 - 100	34	25	- 0.05 , 0.23	P
101 - 150	37	37	- 0.15 , 0.15	P
151 - 262	17	38	- 0.35 , - 0.07	S
ANIMAS	<i>n</i> = 100	<i>n</i> = 90		
0 - 20	31	0	0.21 , 0.41	E
21 - 50	40	22	0.01 , 0.31	E
51 - 100	29	68	- 0.61 , - 0.32	S
101 - 150	0	0	--	--
151 - 262	0	0	--	--
JUNCO	<i>n</i> = 100	<i>n</i> = 96		
0 - 20	8	0	0.02 , 0.17	E
21 - 50	36	10	0.13 , 0.38	E
51 - 100	45	70	- 0.43 , - 0.13	S
101 - 150	11	16	- 0.17 , 0.05	P
151 - 262	0	0	--	--
TOTAL	<i>n</i> = 300	<i>n</i> = 286		
0 - 20	39	0	0.09 , 0.17	E
21 - 50	88	32	0.11 , 0.25	E
51 - 100	108	163	- 0.30 , - 0.12	S
101 - 150	48	53	- 0.10 , 0.04	P
151 - 262	17	38	- 0.13 , - 0.02	S

E (evitado), P (uso en proporción a disponibilidad), S (seleccionado)

Apéndice 2. Características de la vegetación perenne en las tres áreas borregueras evaluadas en la Sierra del Mechudo.

T	EL JUNCO	AP	PC	NI	NE
1	<i>Fouquieria diguetii-Jatropha cuneata</i>	1.7	25.9	128	12
2	<i>F. diguetii-J. cuneata-Bursera microphyla</i>	1.2	12.4	208	23
3	<i>F. diguetii-J. cuneata</i>	1.3	14.8	238	25
4	<i>F. diguetii-J. cuneata-B. microphyla</i>	1.6	20.3	60	12
5	<i>F. diguetii-Olneya tesota</i>	1.1	24.7	92	12
6	<i>F. diguetii-O. tesota-Pachycormus discolor</i>	1.9	61.2	115	17
7	<i>F. diguetii-Adelia virgata-J. cuneata</i>	1.0	24.8	87	13
8	<i>F. diguetii-Cirtocarpa edulis</i>	0.9	10.4	39	12
Promedio		1.3	24.3		
LAS ANIMAS					
1	<i>Lysiloma candida-J. cuneata-B. microphyla.</i>	1.8	18.1	104	13
2	<i>L. candida-Colubrina glabra-J. cuneata.</i>	1.6	13.9	119	12
3	<i>O. tesota-F. diguetii-Larrea tridentata.</i>	1.2	13.9	93	12
4	<i>F. diguetii.</i>	0.9	17.5	145	7
5	<i>B. microphyla-F. diguetii-Caesalpinia placida.</i>	1.7	25.6	164	11
6	<i>L. candida-Ruellia californica.</i>	0.8	11.7	222	22
7	<i>Caesalpinia placida-B. microphyla-R. californica</i>	1.5	32.3	89	20
8	<i>F. diguetii-C. placida-B. microphyla.</i>	1.1	37.6	122	16
Promedio		1.3	21.3		
EL MECHUDO					
1	<i>F. diguetii-B. microphyla-Stenocereus gummosus</i>	1.7	16.1	78	14
2	<i>F. diguetii-J. cuneata.</i>	1.4	14.3	119	11
3	<i>C. reticulata-S. gummosus-J. cuneata.</i>	1.2	19.3	63	10
4	<i>B. microphyla-J. cuneata-Mimosa brandegeei.</i>	1.6	9.9	44	11
5	<i>C. reticulata-S. gummosus.</i>	1.0	24.6	48	7
6	<i>R. californica-B. microphyla-J. cuneata.</i>	0.9	17.9	88	11
7	<i>F. diguetii</i>	0.7	26.7	63	12
8	<i>A. virgata-L. candida.</i>	1.0	4.3	30	10
Promedio		1.2	16.6		

T, transectos (asociaciones vegetales). AP, altura promedio. PC, promedio de cobertura. NI, número de individuos. NE, número de especies.