

## RELACION USO-DISPONIBILIDAD DE COMPONENTES TOPOGRAFICOS Y UN MODELO DE CALIDAD DEL HABITAT PARA EL BORREGO CIMARRON, EN SONORA, MEXICO

Eduardo E. LÓPEZ SAAVEDRA <sup>1</sup>, Raymond M. LEE<sup>2</sup>, James C. DE VOS<sup>2</sup>, Raymond E. SCHWEINSBURG<sup>2</sup> y Gonzalo LUNA SALAZAR <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto del Medio Ambiente y el Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (IMADES). Reyes y Aguascalientes Esq. Col. San Benito C.P. 83190 Hermosillo, Sonora, MEXICO

<sup>2</sup> Departamento de Pesca y Caza del Estado de Arizona (AG&FD). 2221 W. Greenway Road Phoenix, Arizona 85023, U.S.A

### RESUMEN

Este estudio se llevó a cabo en la sierra desértica conocida como Pico-Johnson, en el Estado de Sonora, considerada como hábitat natural del borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*). En este trabajo, se evalúa la importancia de la relación entre el borrego cimarrón y el componente topográfico de su hábitat, mediante técnicas de uso-disponibilidad. La topografía se dividió en cuatro subcomponentes (Altitud, Pendiente, Orientación y Topoforma) y se consideró como uso a las frecuencias de observación, durante un año y medio de visitas mensuales, de los borregos registrados en cada uno de los diferentes subcomponentes, para este estudio se utilizaron como registros, la localización visual de 20 borregos cimarrones (5 machos y 15 hembras) todos con collar radiotransmisor, así como de animales no marcados. La disponibilidad se definió como la proporción en que cada uno de los subcomponentes se encontraba en el área de estudio. Se encontró que los borregos no utilizan los subcomponentes según su proporción, que algunos son preferidos (altitudes mayores de 300m, pendientes mayores de 60%, orientaciones (S-SW-W) y topoformas de tipo ladera de cañón) y otros son evadidos o utilizados en igual proporción. Igualmente, se evaluaron los sitios donde estos animales duermen y descansan (echaderos), encontrándose patrones muy similares de uso. Haciendo énfasis en las variables topográficas, se implementó un modelo de calidad del hábitat en el cual se evaluaron componentes como la topografía, vegetación, agua libre disponible, precipitación, competencia, uso humano, continuidad y expansión del hábitat. El modelo clasificó la calidad del hábitat en excelente, buena, regular y pobre. El modelo fue validado, mediante el registro de frecuencias de observación de borregos en las diferentes clases de calidad del hábitat, considerándose como bueno ya que el 73.0% de los registros, se ubicaron en las zonas clasificadas como excelentes y buenas.

**Palabras Clave:** Borrego Cimarrón, Uso-Disponibilidad, Topografía, Echadero, Modelo de Calidad del Hábitat.

### ABSTRACT

This study was done, in the desert ridge known as the Pico-Johnson, in the state of Sonora, Mexico, which is considered as natural habitat for the desert bighorn sheep (*Ovis canadensis mexicana*). In this work, we evaluate the importance of the relationship, between the bighorn sheep and the topographic

component of his habitat, by using use-availability techniques. Topography was divided in four subcomponents (Height, Slope, Aspect and Landform) which at the same time were divided in classes. For this study, the visual location of 20 bighorn sheep's (5 males and 15 females) marked with radiotransmission collars as well as unmarked sheep observations, were registered. It was considered as use the frequency of sheep observation, for one year and a half of monthly visits, registered within each subcomponent class. Availability was defined as the proportion in which the subcomponent classes were found throughout the study area. It was found that, the sheep, do not use, most of the habitat classes, in their exact proportions, that some are preferred (terrain's higher than 300 meters, slopes higher than 60%, S-SW-W composite aspect and canyon slopes) and the rest of the classes either were avoided or used proportionally. Bedsites, were evaluated using the same technique, encountering very similar patterns. We developed a habitat quality model for the sheep, that emphasized topography, besides topography other habitat components evaluated were: vegetation, free water sources, precipitation, habitat discreteness and range expansion. Habitat quality classes were excellent, good, regular and poor. The model was validated, by using the frequency of sheep observation within the different habitat quality classes and considered as a good habitat quality predictor, on the basis that, 73.0% of the frequency observation, were done on areas classified by the model as excellent and good.

**Key Words:** Desert Bighorn Sheep, Use-Availability, Topography, Bedsite, Habitat Quality Model.

## INTRODUCCION

Durante los últimos años, la mayor parte de los trabajos ecológicos relacionados con fauna silvestre, han sido enfocados hacia la definición de las necesidades y requerimientos específicos de las especies con respecto a ciertos componentes de su hábitat (Krausman y Smith, 1990). El procedimiento general hacia tal definición, se ha llevado a cabo, mediante un enfoque combinado de la zoología de campo básica, historia natural, ecología teórica y el desarrollo y utilización de herramientas cuantitativas (Morrison *et al.* 1992). En general se consideran como componentes del hábitat a los siguientes: Vegetación, topografía, hábitat modificado (fauna y antropogénico), agua libre, fuentes de alimento, competidores, depredadores, parásitos, disturbio humano, clima y ocurrencia histórica (Cooperrider, 1986). La relación entre la fauna silvestre y algunos componentes del hábitat, en el sentido de la utilización y disponibilidad de dichos componentes, así como sus técnicas de análisis, han sido abordadas por varios autores como Neu, *et al.* (1974), Jacobs (1974), Marcum y Loftsgaarden (1980), Thomas y Taylor (1990).

Los estudios relacionados con el uso-disponibilidad del hábitat han sido clasificados en tres tipos según su diseño de investigación, el primero evalúa selectividad de componentes a nivel poblacional. Los diseños 2 y 3 permiten la evaluación a nivel de individuos, ambos se diferencian, en que, en el diseño 3 se evalúa la disponibilidad para cada individuo monitoreado no siendo así para el diseño 2 (Thomas y Taylor, 1990).

El borrego cimarrón del desierto es una de estas especies de fauna silvestre sobre la cual se han llevado a cabo estudios de uso-disponibilidad de componentes de su hábitat y de otros aspectos relacionados con el uso del hábitat como movimientos y ámbitos hogareños. (Leslie y Douglas, 1979; Ough y deVos, 1984; Krausman *et al.* 1989; Wakeling y Miller, 1989; Alderman *et al.* 1989; Scott *et al.* 1990; Cunningham y deVos, 1992). Estos mismos autores reconocen al componente topográfico como uno de los principales factores que determinan la calidad del hábitat del borrego cimarrón. Asimismo, la calidad topográfica se relaciona con lo que se define como "terreno de escape" caracterizado por pendientes pronunciadas y altas elevaciones con salientes rocosas.

De manera complementaria a lo expuesto anteriormente y conforme las amenazas sobre las poblaciones y el hábitat del borrego se incrementan, al igual que la intensidad de su manejo, se hace necesario el desarrollo de modelos de fácil estructuración y aplicación que, en forma muy precisa, tengan la capacidad de predecir la utilización y la calidad del hábitat.

Varios de estos modelos, que evalúan la calidad del hábitat del borrego cimarrón, han sido desarrollados en los Estados Unidos de Norteamérica (Hansen, 1980; Cunningham, 1989; Ebert y Douglas, 1994). Estos modelos, utilizan componentes del hábitat como la topografía, vegetación, clima, fuentes de agua libre, competencia con otros ungulados (tanto nativos, como domésticos y exóticos), uso humano y el tamaño de las áreas con hábitat adecuado disponible, para la expansión potencial de las poblaciones del borrego.

Tal como se mencionó anteriormente, un común denominador, de los modelos de calidad del hábitat, es que resaltan al componente topográfico como uno de los factores principales de predicción de la calidad del hábitat, ya que explica la mayor parte de la variación (Wakeling y Miller, 1990; Ebert y Douglas, 1994).

Actualmente en el Estado de Sonora, se encuentran sierras desérticas que sostienen poblaciones de borrego cimarrón, de diferentes tamaños, que son aprovechadas y manejadas en diferente forma e intensidad (López, 1993; Lee y López-Saavedra, 1993; 1994). Sin embargo, la investigación básica y aplicada, que orienta y valida dichas actividades, no se realiza, al menos no a la misma intensidad. Por lo que, generar información básica que permita evaluar actividades como: Uso humano (impacto ambiental), repoblaciones e identificación de sitios potenciales para repoblación, restauración y mejoramiento de hábitat, establecimiento de unidades de manejo entre otros, es prioritario.

Los objetivos de este trabajo son el de evaluar el uso del hábitat, por los borregos cimarrones, con relación a la topografía y desarrollar un modelo de calidad del hábitat que enfatize el aspecto topográfico, para una sierra selecta (Pico-Johnson) en el Estado de Sonora; asimismo, que esta información sirva como soporte

técnico básico para evaluaciones de impacto ambiental, aprovechamiento y manejo de esta especie.

### Area de Estudio

La cordillera desértica, conocida como Sierra Pico-Johnson y Noche Buena, se ubica en la Zona Costa-Centro del Estado de Sonora, aproximadamente a 40 km. al Norte del poblado pesquero y turístico conocido como Bahía Kino (Fig. 1). Esta Sierra tiene su punto más alto a 1,060 msnm. La precipitación promedio anual para esta zona es de 193.9 mm (100 mm promedio de Verano y 45 mm promedio de Invierno), con una temperatura media de Verano de 33°C y de 15°C para el Invierno (Turner y Brown, 1982).

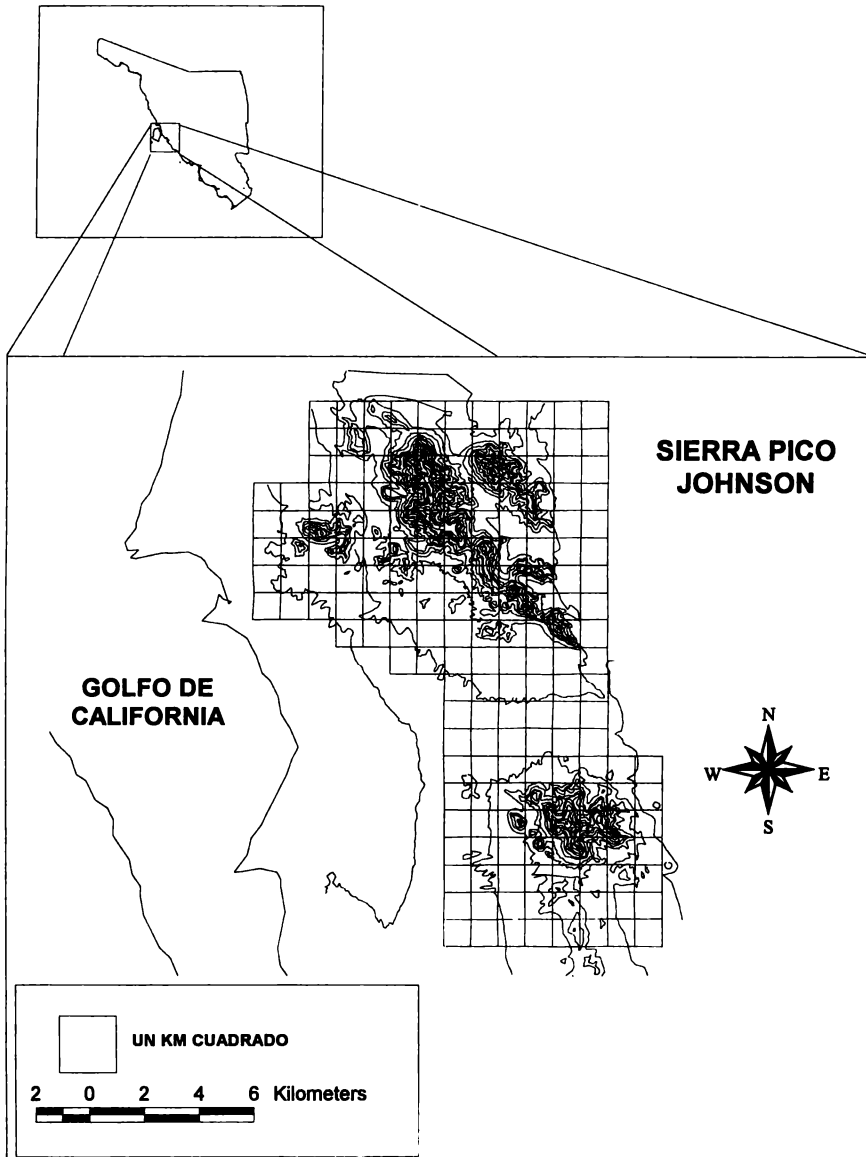
El área de estudio, que comprende una superficie de 190 km<sup>2</sup>, se encuentra dentro de la subdivisión del desierto Sonorense conocida como Costa Central (Turner y Brown, 1982). En donde dominan asociaciones de especies como: El torote blanco (*Bursera microphylla*), torote prieto (*B. hindsiana*), sangregado (*Jatropha cuneata*), torito (*J. Cinerea*) rama blanca (*Encelia farinosa*) y gobernadora (*Larrea tridentata*); a esta última por lo regular, se le encuentra en forma localizada y dominante (Turner y Brown, 1982). Las partes altas de esta Zona se consideran que soportan vegetación disyunta de origen más tropical, sobresaliendo especies como el palo blanco (*Acacia willardiana*) y el cardón (*Pachycereus pringlei*).

## MATERIAL Y METODOS

### Información de Campo: Uso Topográfico.

Los valores de frecuencias de observación, correspondientes a los diferentes subcomponentes topográficos tales como: altitud, pendiente, orientación y topoformas, se obtuvieron mediante la localización de 20 borregos (15 hembras y 5 machos) equipados con collares radiotransmisores, más las observaciones adicionales de individuos y grupos sin collar. Esto, se realizó durante un año y medio (de 1995 a 1996) de visitas mensuales a la zona de estudio. La altitud, pendiente y orientación fueron evaluados en el campo al mismo momento de hacer la observación, utilizando un geoposicionador geográfico y mapas topográficos 1:50,000, clinómetros y brújulas, respectivamente.

En el caso de los echaderos, éstos fueron evaluados bajo tres criterios de prioridad de selección; primero la observación directa de la utilización del echadero; segundo, la detección de excretas recientes y tercero, la observación de huellas o excretas no muy recientes. Una vez seleccionado, se tomaron los datos tal y como se mencionó anteriormente para el uso o frecuencias de observación de los borregos.



**Figura 1**

Cordillera desértica conocida como Pico-Johnson. Sobrepuesta se observa la cuadrícula que delimita en km<sup>2</sup> el área de estudio.

La clasificación y división del área de estudio en diferentes clases topográficas, se basó en antecedentes bibliográficos (Hansen, 1980; Cunningham, 1993; Ebert y Douglas, 1994; Bristow *et al.* 1996) y en el criterio del investigador.

Así, el subcomponente altitudinal se dividió en tres rangos y/o clases de 0 a 300 m, de 301 a 600 y más de 600 metros, la pendiente se dividió en tres rangos, de 0 a 30%, de 31 a 60% y más de 60%, la orientación se dividió en cuatro cuadrantes de 0 a 89° (N-NE-E), de 90 a 179° (E-SE-S), de 180 a 269° (S-SW-W) y de 270 a 360° (W-NW-N). Las topoformas se clasificaron en 5 tipos: Tope de la Sierra, Ladera de Cañón, Ladera de la Sierra, Cerros y Lomeríos y Planicies y Arroyos.

#### **Disponibilidad:** Evaluación de Subcomponentes.

La cuantificación de los valores (tanto en hectáreas como en porcentaje) para los subcomponentes altitud, pendiente y orientación, para la totalidad del área de estudio (190 km<sup>2</sup>) se obtuvieron mediante la digitalización de las curvas de nivel de mapas topográficos 1:50,000 (de INEGI) y utilizando dos sistemas de información geográfica (SIG) conocidos por sus siglas como ILWIS Ver.1.3 y ERDAS Ver.7.5. Con el primero, se procesó la información digitalizada generándose un mapa raster o mapa de elevación digital, con el segundo SIG, se procesó el mapa raster y se obtuvieron los valores, tanto en hectáreas como en porcentajes de los subcomponentes anteriormente mencionados.

Las proporciones de las clases de las topoformas, se estimaron utilizando una técnica no-mapeable (Marcum y Loftgarden, 1980); en este caso, se utilizó la fotografía aérea (1:50,000) del área de estudio, se cuadrículó en cm<sup>2</sup> y los puntos o vértices se enumeraron en forma secuencial; para evaluar la topoforma se decidió arbitrariamente la cantidad de 110 puntos o vértices; utilizando el programa StatGraphics Ver.4.0 se obtuvieron los 110 puntos aleatoriamente; así, utilizando visión estereoscópica se determinó la topoforma correspondiente para cada uno de los puntos. El valor relativo por clase corresponde a la proporción estimada para cada una de éstas.

Una vez obtenidos los valores de frecuencias de registros (uso) y las proporciones disponibles para cada uno de los componentes topográficos (disponibilidad), se procedió a evaluar la hipótesis nula de que los borregos utilizan los componentes, según su disponibilidad dentro del área de estudio. Esto se probó mediante una prueba de Ji-cuadrada de bondad de ajuste ( $\chi^2$ ); cuando el uso difirió de la proporción disponible, se calcularon los intervalos de Bonferroni (Neu *et al.* 1974; Byers *et al.* 1984). Si la proporción del área disponible dentro de un rango o clase en particular, se encontraba fuera de los límites de confianza entonces se calculó el índice D de Jacobs (Jacobs, 1974), el cual nos indica la magnitud de la

selección o evasión por parte del borrego hacia dicha clase. Estos valores van de -1 para máxima evasión, hasta +1 para máxima selección.

### **Modelo de Calidad del Hábitat**

El modelo de calidad del hábitat, se hizo tomando como base las metodologías desarrolladas para la evaluación de hábitat de borrego cimarrón (Hansen, 1980; Cunningham, 1989; Ebert y Douglas, 1994). Específicamente se utilizó la desarrollada por el Departamento de Pesca y Caza del Estado de Arizona (Cunningham, 1989), utilizada para la evaluación de actividades de introducción de borregos del desierto.

Fundamentalmente, en este modelo se evalúan los mismos factores mencionados en los anteriores modelos, tales como; topografía, vegetación, precipitación, uso humano, agua libre disponible, competencia y continuidad del hábitat (para una explicación más detallada ver Apéndice 1); sin embargo, se tuvieron que hacer algunas modificaciones a los criterios de evaluación, tales como el agregar dentro del factor precipitación los días con neblina y darle un mayor puntaje al factor topográfico, lo anterior con el fin de ajustar el modelo a las particularidades y condiciones del área de estudio. En este caso se dividió el área de estudio en cuadros (rejilla) de 1 Km<sup>2</sup>, en los cuales se evaluaron los factores antes mencionados y se asignó un puntaje para cada uno de ellos (ver Apéndice 1).

Cuando los valores para los siete componentes son sumados, un valor de 90 puntos es el valor máximo posible para cualesquiera de las celdas. Así, tomando como base el valor total obtenido de la sumatoria, la celda es catalogada dentro de un rango, el cual la clasifica como hábitat de calidad Pobre (0-20 puntos), Regular (21-40), Bueno (41-66) y Excelente (67-90).

Por otra parte, y con el fin de validar el modelo, el número de localizaciones de borregos, para cada clase de calidad de hábitat, se comparó con la cantidad del hábitat disponible dentro de esa clase. Un análisis de Ji-cuadrada (prueba de bondad de ajuste) se utilizó para probar la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) de que los borregos utilizan las clases de calidad de hábitat en proporción a su disponibilidad (Neu *et al.* 1974).

Cuando se detectó significancia ( $p \leq 0.05$ ), se calcularon los intervalos de confianza simultáneos de Bonferroni (Byers *et al.* 1984), con el fin de determinar que tipo de calidad de hábitat es seleccionado, evadido o utilizado en proporción a su disponibilidad. La prueba D' de Jacobs (Jacobs, 1974) se utilizó con el fin de medir la magnitud (-1 a +1) de las evasiones y de las selecciones respectivamente.

## RESULTADOS

En total, se hicieron 134 localizaciones de uso de los componentes topográficos. En general, se observó que los cuatro componentes: Altitud ( $\chi^2 = 171.96$   $gl = 2, \alpha \leq 0.001$ ), Pendiente ( $\chi^2 = 1058.44$ ,  $gl = 2, \alpha \leq 0.001$ ), Orientación ( $\chi^2 = 26.32$ ,  $gl = 3, \alpha \leq 0.001$ ) y Topoforma ( $\chi^2 = 2779.5$ ,  $gl = 4, \alpha \leq 0.001$ ) fueron utilizados en exceso a su disponibilidad en el área de estudio.

Con respecto al componente altitud, se observa que los borregos presentaron una cierta evasión a las altitudes por abajo de los 300 metros; asimismo, se denota una mayor utilización de lo disponible, de altitudes por encima de los 300 metros (Cuadro 1).

Cuadro 1

Uso de las clases de los subcomponentes topográficos, según su disponibilidad, por parte del borrego cimarrón en la sierra de Pico-Johnson. (Prd) proporción disponible, (Prob) proporción utilizada. Jacobs D' indica la dirección y magnitud de la selección o de la evasión.

Subcomponentes	Area Km <sup>2</sup>	Prd	Frec	Frec Obs.	Prob Esp.	Int.de Conf. de Bonffer.	Jacobs D'
<b>ALTITUD</b>							
0-300 m	135.41	.700	36	93.8	.256	$0.176 \leq \text{prd} \leq 0.359$	- 0.728
301-599m	49.39	.250	76	33.5	.567	$0.464 \leq \text{prd} \leq 0.669$	+ 0.594
> de 600 m	07.05	.036	22	04.02	.164	$0.087 \leq \text{prd} \leq 0.240$	+ 0.600
<b>X<sup>2</sup> = 171.96 gl = 2 <math>\alpha \leq 0.001</math> n = 134</b>							
<b>PENDIENTE</b>							
0-30%	134.9	.700	8	93	.059	$0.010 \leq \text{prd} \leq 0.107$	-0.948
31-59 %	03.82	.020	45	2	.335	$0.237 \leq \text{prd} \leq 0.432$	+ 0.923
> de 60 %	53.12	.276	81	36	.604	$0.502 \leq \text{prd} \leq 0.705$	+ 0.609
<b>X<sup>2</sup> = 1058.44 gl = 2 <math>\alpha \leq 0.001</math> n = 134</b>							
<b>ORIENTACION</b>							
0-89°	73.84	.380	36	50	.026	$0.008 \leq \text{prd} \leq 0.060$	-0.916
90-179°	34.32	.170	29	22	.216	$0.127 \leq \text{prd} \leq 0.304$	=
180-269°	40.89	.210	50	28	.373	$0.268 \leq \text{prd} \leq 0.477$	+ 0.381
270-360°	41.98	.214	19	28	.141	$0.065 \leq \text{prd} \leq 0.216$	=
<b>X<sup>2</sup> = 26.32 gl = 3 <math>\alpha \leq 0.001</math> n = 134</b>							
<b>TOPOFORMA</b>							
Tope de Sierra		.050	11	6	.082	$0.022 \leq \text{prd} \leq 0.141$	=
Ladera de Cañón		.220	76	2	.567	$0.459 \leq \text{prd} \leq 0.674$	+ 0.816
Ladera de Sierra		.310	37	41	.276	$0.179 \leq \text{prd} \leq 0.372$	=
Lomerios		.150	10	20	.074	$0.017 \leq \text{prd} \leq 0.130$	-0.376
Planicies y/o Arroyos		.240	0	32	.000	-	-
<b>X<sup>2</sup> = 2779.5 gl = 4 <math>\alpha \leq 0.001</math> n = 134</b>							



Las pendientes por abajo del 30% de inclinación fueron altamente evadidas ( $D' = -0.916$ ), mientras que las de mayor pendiente fueron utilizadas en exceso a su disponibilidad (Cuadro 1). En cuanto a la orientación, solamente el primer cuadrante ( $0 - 89^\circ$ ) que es la composición N-NE-E, fue evadido ( $D' = -0.916$ ), mientras que el resto de los cuadrantes fueron utilizados en la proporción en que se encuentran a excepción de la orientación compuesta de S-SW-W, la cual fue utilizada levemente en mayor proporción de lo disponible (Cuadro 1).

En relación a las topoformas, es notable la selección de las laderas de cañón ( $D' = +0.816$ ), una leve evasión de los lomeríos ( $D' = -0.376$ ) y una utilización de igual proporción del resto, no se hicieron registros en planicies y arroyos (Cuadro 1).

Se evaluaron un total de 39 echaderos; asimismo, se determinaron diferencias en cuanto a su utilización según su disponibilidad para los componentes de altitud ( $\chi^2 = 169.92$ ,  $gl = 2$ ,  $\alpha \leq 0.001$ ), pendiente ( $\chi^2 = 80.68$ ,  $gl = 2$ ,  $\alpha \leq 0.005$ ), orientación ( $\chi^2 = 14.95$ ,  $gl = 3$ ,  $\alpha \leq 0.005$ ) y topoforma ( $\chi^2 = 42.88$ ,  $gl = 4$ ,  $\alpha \leq 0.001$ ). Los datos, nos indican que los borregos evaden las alturas menores de 300 metros para establecer sus echaderos ( $D' = -0.829$ ), y seleccionan alturas mayores a la anterior para echarse (Cuadro 2). También los borregos, seleccionaron pendientes mayores de 60% y evadieron las menores de 30%. La orientación W-NW-N, fue seleccionada medianamente ( $D' = +0.525$ ), mientras que el resto de las orientaciones las utilizaron en proporción a su disponibilidad (Cuadro 2).

En forma similar a las localizaciones de los borregos, éstos seleccionaron las laderas de cañón para establecer sus echaderos ( $D' = +0.700$ ).

### **Modelo de Calidad del Habitat**

Del total de los 190 Km<sup>2</sup> que comprenden el área de estudio (Pico-Johnson), el 6% (12 km<sup>2</sup>) se clasificó como excelente, 18% (36 km<sup>2</sup>) como bueno, 22% (43 km<sup>2</sup>) como regular y el 52% (99 km<sup>2</sup>) como pobre (Cuadro 3) (Fig. 2).

De las 219 localizaciones (incluye borregos con collar y sin collar) que se obtuvieron durante el estudio, el 73.0% de estas fueron observados en hábitat clasificado como excelente y bueno, asimismo, los borregos no utilizaron el hábitat según la proporción disponible de las clases de calidad del hábitat ( $\chi^2 = 527.28$ ,  $gl = 3$ ,  $\alpha \leq 0.001$ ), también se observa, que los borregos evadieron hábitat pobre ( $D' = -0.806$ ) y seleccionaron el hábitat excelente y bueno (+0.828 y +0.326 respectivamente) (Cuadro 3).

**Cuadro 2**

Uso de las clases de los subcomponentes topográficos, según su disponibilidad en el área de estudio, por parte de los borregos para ubicar sus echaderos. (Prd) proporción disponible, (Prob) proporción observada. Jacobs D' indica la magnitud y la dirección de la selección o de la evasión.

Subcomponentes	Area Km <sup>2</sup>	Prd	Frec	Frec Obs	Prob Esp	Inter de Conf de Bonferroni	Jacobs D'
<b>ALTITUD</b>							
0-300m	135.41	.700	7	27	.179	.031 ≤ prd ≤ .326	-.829
301-599m	49.39	.250	19	9	.487	.294 ≤ prd ≤ .679	+.479
> de 600m	07.05	.030	13	1	.333	.151 ≤ prd ≤ .514	+.883
<b>X<sup>2</sup> = 169.92 gl = 2 α ≤ 0.001 n = 39</b>							
<b>PENDIENTE</b>							
0-30%	134.9	.700	4	27	.102	-.014 ≤ prd ≤ .218	-.907
31-59%	03.8	.020	6	1	.153	.014 ≤ prd ≤ .291	=
> de 60%	53.12	.270	29	10	.743	.575 ≤ prd ≤ .910	+.773
<b>X<sup>2</sup> = 80.68 gl = 2 α ≤ 0.001 n = 39</b>							
<b>ORIENTACION</b>							
0-89°	73.84	.380	12	14	.307	.122 ≤ prd ≤ .491	=
90-179°	34.32	.170	5	6	.128	.005 ≤ prd ≤ .261	=
180-269°	40.89	.210	4	8	.102	-.019 ≤ prd ≤ .223	=
270-360°	41.98	.210	18	8	.461	.261 ≤ prd ≤ .660	+.525
<b>X<sup>2</sup> = 14.95 gl = 3 α ≤ 0.005 n = 39</b>							
<b>TOPOFORMA</b>							
Tope de Sierra		.050	2	2	.051	-.037 ≤ prd ≤ .139	=
Ladera de Cañón		.220	24	8	.615	.420 ≤ prd ≤ .809	+.700
Ladera de Sierra		.310	11	12	.282	.101 ≤ prd ≤ .462	=
Cerros y Lomerios		.150	2	5	.051	-.037 ≤ prd ≤ .139	-.533
Planicies y Arroyos		.240	0	9	.000	-	-
<b>X<sup>2</sup> = 42.88 gl = 4 α ≤ 0.001 n = 39</b>							

**Cuadro 3**

Utilización de las clases de calidad del hábitat, según su disponibilidad, por parte del borrego cimarrón, en la sierra Pico-Johnson. (Prd) proporción disponible, (Prob) proporción utilizada. Jacobs D' indica la magnitud y dirección de la selección o evasión.

Clases de Calidad de Hábitat	Area Km <sup>2</sup>	Prd	Frec Obs	Frec Esp	Prob	Inter de Conf. de Bonferroni	Jacobs D'
Excelente	12	.063	91	13.79	.415	.335 ≤ prd ≤ .494	+.828
Bueno	36	.189	69	41.47	.315	.239 ≤ prd ≤ .239	+.326
Regular	43	.226	36	49.5	.164	.103 ≤ prd ≤ .224	=
Pobre	99	.521	23	114.41	.105	.055 ≤ prd ≤ .154	-.806
<b>X<sup>2</sup> = 527.28 gl = 3 α ≤ 0.001 n = 219</b>							

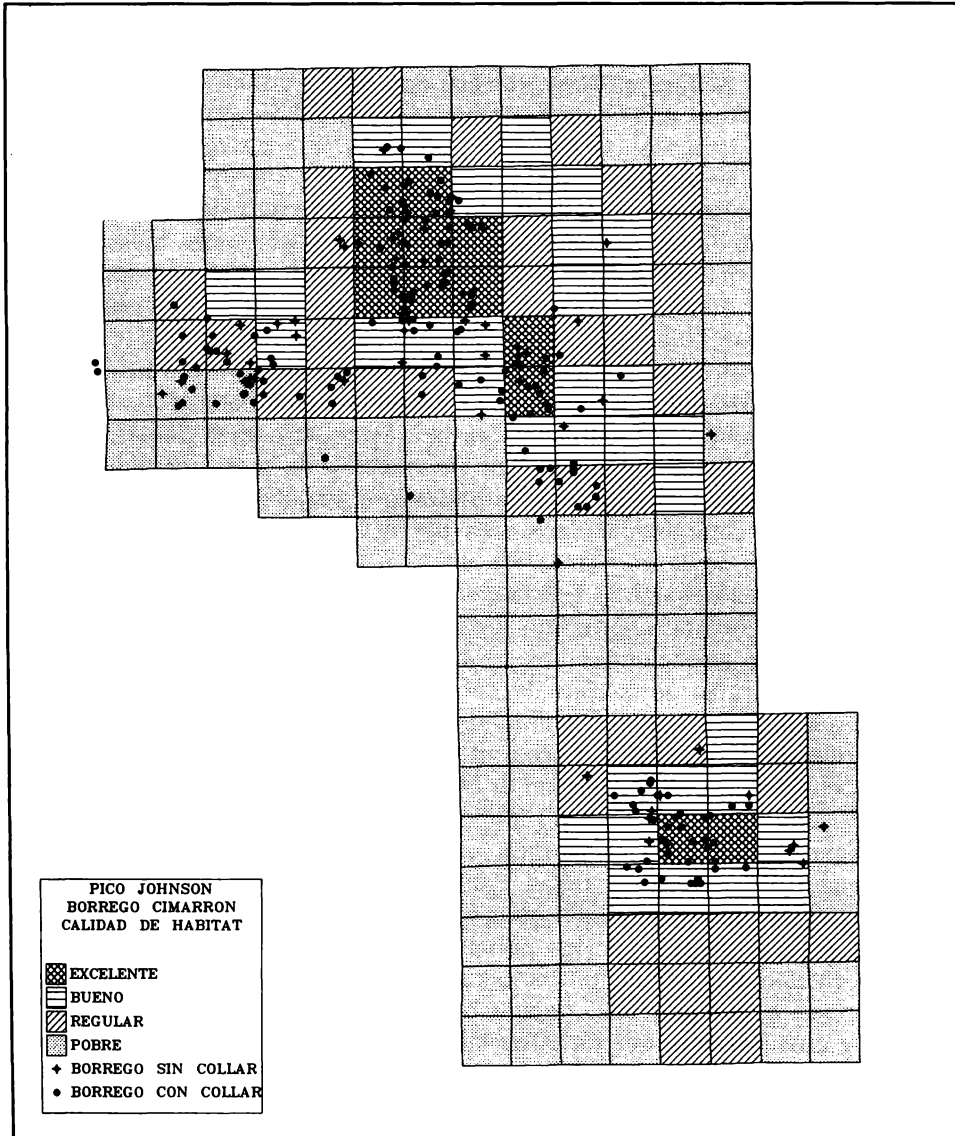


Figura 2

Zonas de calidad del hábitat para el borrego cimarrón en la sierra Pico-Johnson. Se observan sobrepuestas, las localizaciones de los borregos con collar radiotransmisor y observaciones adicionales de individuos y grupos sin collar (n = 219).

## DISCUSION

En nuestro estudio, al igual que en otros estudios (Dood y Smith, 1988; Wakeling y Miller, 1989; Bristow *et al.* 1996), realizados para borregos del desierto, la selección de los diferentes parámetros topográficos está relacionado con la protección al ambiente y depredadores.

Asimismo, esta selección de componentes, influye en la calidad de lo que se conoce como terreno de escape, este término es definido por varios investigadores como el área de un hábitat determinado, conformado por terrenos quebrados, de gran pendiente (>60%) y gran altitud (>300m) (Dood y Smith, 1988; Cunningham, 1989).

El observar en nuestro estudio mayores registros y uso, en mayor proporción de lo disponible, de clases topográficas, que definen la buena calidad del terreno de escape, nos indica el papel tan importante que éste juega en el desarrollo de las poblaciones de borrego para esta zona, sin hacer a un lado por supuesto, su interrelación con otros factores del hábitat como la vegetación, agua libre, entre otros, que actúan sinérgicamente para definir el ámbito hogareño de estos animales.

La ubicación de los echaderos con relación a la topografía, viene a reforzar los planteamientos hechos anteriormente, en el sentido de la seguridad, ya que, los borregos al ubicar o seleccionar sitios para echarse con altas pendientes, de gran altitud y en topoformas de laderas de cañón, obtienen una mayor protección y visibilidad contra depredadores. Lo anterior es importante si consideramos que en promedio, durante su actividad diurna, el borrego invierte el 38% de su tiempo echado (Mccutchen, 1987; Alderman *et al.* 1989).

En nuestro estudio y tal como se identificó en otros modelos de calidad del hábitat, desarrollados para el borrego cimarrón del desierto (Hansen, 1980; Cunningham, 1989; Ebert y Douglas, 1994; Bristow *et al.* 1996) la topografía, vegetación, agua libre disponible, precipitación, uso humano, competencia y tamaño del área o hábitat, son los principales factores a evaluar para un buen modelo de calidad del hábitat. Sin embargo, en nuestro modelo se le dio mayor puntaje o peso a la topografía, debido a que, otros factores como agua libre disponible y precipitación, que en otros modelos tienen un mayor peso, son muy escasos y en algunos lugares casi nulos.

Algo importante, a resaltar, es que durante el estudio no se detectaron sitios con agua libre permanente, siendo éste un patrón generalizado para la totalidad del área de distribución natural del borrego en Sonora (Mendoza, 1976). Lo anterior justifica y enfatiza la incorporación de la variable días con neblina, dentro del componente de precipitación, la cual hace distintivo a este modelo de los antes mencionados. La proximidad de esta sierra al Golfo de California hace que, de alguna manera, la

neblina juegue un papel importante en el desarrollo de las especies en el desierto Sonorense (MacMahon y Wagner, 1985; Turner y Brown, 1982). Para el caso del borrego cimarrón, Krausman *et al.* (1985) y Alderman *et al.* (1989), en estudios realizados en Arizona, E.U.A., encontraron que existe una alta correlación, entre la humedad relativa en el ambiente y la cantidad de tiempo invertido para actividades de forrajeo y ramoneo, no obstante, la influencia de este factor climático, sobre el borrego cimarrón en nuestra área de estudio, no ha sido estudiada.

En general, el modelo se puede considerar como bueno, ya que el 73.0% de los registros de borrego se ubicaron en áreas clasificadas por el modelo como de excelente y buena calidad de hábitat. No obstante, es importante aclarar que los componentes y clases de calidad del hábitat aquí evaluados, solamente son válidos a la escala 1:50,000 o nivel de resolución a la que se trabajó, lo anterior se menciona tomando en cuenta que existen estudios como los de Ebert y Douglas (1994) y el de Divine *et al.* (1996) que han demostrado que los valores de calidad del hábitat, y principalmente el componente topográfico, se modifica según la escala o nivel de elevación que se esté utilizando.

Consideramos, que el desarrollo de este tipo de modelos, es una buena herramienta de tipo accesible para la evaluación de hábitats actuales y potenciales de borrego cimarrón del desierto, con fines de establecer estrategias de conservación y manejo.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores deseamos agradecer a los propietarios y personal de campo de los ranchos ubicados en la sierra Pico-Johnson. A los investigadores que participaron en las salidas de campo Elvira Rogero, Florentino Garza, Andrés Villarreal, Carlos Castillo, Martín Franco, a Rafaela Paredes por la elaboración de los mapas. Al personal técnico del Departamento de Pesca y Caza de Arizona, a INE-SEMARNAP por avalar este proyecto. A Guadalupe Morales por su apoyo en la utilización de los SIG. Especialmente, se agradece el apoyo económico proporcionado por la Fundación Nacional de Vida Silvestre (NFWF) proyectos de restauración de vida silvestre W-53-M y W-78-R.

#### **LITERATURA CITADA**

- Alderman, J. A., P.R. Krausman & B.D. Leopold. 1989. Diel Activity of Female Desert Bighorn Sheep in Western Arizona. *J. Wildl. Manage.* 53 (1):264-271.
- Beason, S.L., E.P. Wiggers & J.R. Ciardino. 1983. A Technique for Assessing Land Surface Ruggedness. *J. Wildl. Manage.* 47:1163-1166.
- Bristow, D.K., J.A. Wennerlund, R.E. Schweinsburg, R.J. Olding & R.E. Lee. 1996. *Habitat Use and Movements of Desert Bighorn Sheep Near the Silver Bell Mine, Arizona*. Arizona Game and Fish Department, Tech. Rep. 25. 1-57 pp.

- Byers, C.R., R.K. Steinhorst & P.R. Krausman. 1984. Clarification of a Technique for Analysis of Utilization-Availability Data. *J. Wildl. Manage.* 48:1050-1053.
- Cooperrider, A.Y. 1986. Habitat Evaluation Systems. Pp 757-776. In: Cooperrider A.Y., R.S. Boyd and H.R. Stuart. (eds.). *Inventory and Monitoring of Wildlife Habitat*. Bureau of Land Management.
- Cunningham, S.C. 1989. Evaluation of Bighorn Sheep Habitat. Pp. 135-160. In: Raymond Lee (ed). *The Desert Bighorn Sheep in Arizona*. Arizona Game and Fish Dept. Phoenix.
- Cunningham, S.C. & J.C. de Vos. 1992. Mortality of Mountain Sheep in the Black Canyon Area of Northwest Arizona. *Desert Bighorn Council Trans.* 36: 27-29.
- Divine, D.D., D.W. Ebert & C.L. Douglas. 1996. Effect of scale on defining topographically suitable desert bighorn sheep habitat. *Desert Bighorn Council Trans.* 40:13-18.
- Dodd, L.N. & R.H. Smith. 1988. *Habitat and Spatial Relationships of Sympatric Desert Bighorn Sheep and Cattle*. Research Branch. Arizona Game and Fish Department. 1-25.
- Ebert, D.W. & C.L. Douglas. 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. Univ. of Nev. Las Vegas. 31 pp.
- Hansen, C.G. 1980. Habitat. Pp. 64-79. In: Monson, G. and L. Sumner (Eds). *The Desert Bighorn, it's Life, History, Ecology and Management*. The University of Arizona Press. Tucson. Az.365PP.
- Jacobs, J. 1974. Quantitative Measurement of Food Selection. A modification of the Forage Ratio and Ivlev's Electivity Index. *Oecologia*. (Berl.) 14: 413-417.
- Krausman, R.P., G.D. Leopold, R.F. Seegmiller & S.G. Torres. 1989. Relationships Between Desert Bighorn Sheep and Habitat in Western Arizona. *Wildlife Monographs*. 102: 1-106.
- Krausman, R.P. & N.S. Smith. 1990. *Managing Wildlife in the Southwest*. Symposium Proceedings. The Wildlife Life Society. Arizona. 1-262 pp.
- Krausman, R.P., S. Torres, L.L. Ordway, J.J. Hervert & M. Brown. 1985. Diel Activity of Ewes in the Little Harquahala Mountains. Arizona. *Desert Bighorn Council Trans.* 29:24-26.
- Lee, R.M. & E. López-Saavedra. 1993. Helicopter Survey of Desert Bighorn Sheep in Sonora, Mexico. *Desert Bighorn Council Trans.* 37:29-32.
- \_\_\_\_\_. 1994. A Second Helicopter Survey of Desert Bighorn Sheep in Sonora, Mexico. *Desert Bighorn Council Trans.* 38:12-13.
- Leslie, D.M. & C.L. Douglas. 1979. Desert Bighorn Sheep of the River Mountains, Nevada. *Wildl. Monogr.* 66; 1-56 pp.
- López, E.E. 1993. *Plan de Manejo de Borrego Cimarrón para el Estado de Sonora*. Reporte Técnico. Centro Ecológico de Sonora. Gobierno del Estado de Sonora. 61 pp.
- MacMahon, J.A. & F.H. Warner. 1985. The Mojave, Sonoran and Chihuahuan Deserts of North America. Pp. 105-202, In: M. Evenari et al. (eds). *Hot Deserts and Arid Shrublands*. Elsevier. Amsterdam.
- Marcum, C.L. & D. Loftsgaarden. 1980. A nonmapping technique for studying habitat preferences. *J. Wildl. Manage.* 44(4):963-968.
- Mccutchen, H.E. 1987. Diurnal Summer Activity Patterns of Captive Desert Bighorn Sheep. *Desert Bighorn Council Trans.* 31:15-17.
- Mendoza, J. 1976. Status of the Desert Bighorn in Sonora. *Desert Bighorn Council Trans.* 20:25-26.

- Morrison, M.L., B.G. Marcot & R.W. Mannan.** 1992. *Wildlife Habitat Relationships Concept and Applications*. The University of Wisconsin Press. 1-343 pp.
- Neu, C.W., C.R. Byers & J.M. Peek.** 1974. A Technique for Analysis of Utilization Availability Data. *J. Wildl. Manage.* 38:541-545.
- Ough, W.P. & J.C. de Vos.** 1984. Intermountain Travel Corridors and Their Management Implications for Bighorn Sheep. *Desert Bighorn Counc. Trans.* 28:32-36.
- Scott, J.E., R.R. Remington & J.C. de Vos.** 1990. Numbers, Movements, and Disease Status of Bighorn in the Southwestern Arizona. *Desert Bighorn Counc. Trans.* 34:9-13.
- Thomas, D.L. & E.J. Taylor.** 1990. Study Designs and Tests for Comparing Resource Use and Availability. *J. Wildl. Manage.* 54(2): 322-330.
- Turner, R.M. & D.E. Brown.** 1982. Sonoran Desert Scrub. Pp. 181-221. *In:* D.E. Brown (ed) *Biotic Communities of the American Southwest United States and México*. Desert Plants.
- Wakeling, F.B. & W.H. Miller.** 1989. Bedsite Characteristic of Desert Bighorn Sheep in the Superstition Mountains, Arizona. *Desert Bighorn Counc. Trans.* 33: 6-8.
- \_\_\_\_\_. 1990. A Modified Habitat Suitability Index for Desert Bighorn Sheep. Pp. 58-66. *In:* Krausman, P.R. and N.S. Smith. (Eds.). *Managing Wildlife in the Southwest*. Symposium Proceedings.

*Recibido: 6 de febrero 1998*

*Aceptado: 15 de septiembre 1998*

## APENDICE 1

"Modelo de Calidad del Hábitat: Componentes, criterios de evaluación y valores asignados (Puntaje)"

La heterogeneidad de la superficie del terreno, combinado con una pendiente elevada (terreno de escape), es de gran importancia para el borrego, por lo que su evaluación en forma objetiva y precisa es determinante para un buen modelo de calidad de hábitat.

Varios autores (Beasom, 1983; Ebert y Douglas, 1993), 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. Tomando en cuenta lo anterior, se calculó un índice de escabrosidad y/o rugosidad del terreno, éste se obtuvo utilizando un sistema de información geográfica (SIG) (CAMRIS Ver 3.55). Con el cual en cada celda, se midieron las longitudes totales de las líneas de contorno (cotas de elevación), este valor se multiplicó por el número total de las líneas, en dicha celda, y se dividió por el área de la celda (1 km<sup>2</sup> en este caso). Con los valores obtenidos para cada celda, se establecieron varios rangos, éstos a su vez, permiten establecer y delimitar clases topográficas.

Según el índice de escabrosidad del terreno, se identificaron 5 clases topográficas.

0-20	Terrenos planos con cerros bajos
21-50	Terreno de Sierra baja
51-149	Terreno de Sierras medianas
150-200	Terreno de Sierras altas
200 >	Terreno de Sierra alta compuesto (con cañones pequeños dentro de cañones grandes)

Así, los puntajes y los criterios topográficos quedaron definidos de la siguiente manera:

TOPOGRAFIA: Tipo de Terreno

- 0 Terreno plano o poco undulado; a más de 1.6 km de terreno con pendiente pronunciada > 60%.
- 4 Cerros bajos o Sierra baja (> 100 < 300 m) alta pendiente > 60%, a más de 1.6 km de Sierra alta escabrosa.
- 8 Cerros bajos, de alta pendiente > 60%, entre 1.6 km de distancia de Sierra alta escabrosa.
- 16 Sierra mediana (> 300 < 600 m) de alta pendiente, a más de 1.6 km de terreno escabroso.
- 24 Sierra mediana; de gran pendiente > 60%, a menos de 1.6 km, con cañones y salientes intercostales.
- 30 Sierra alta (> 600 m), terreno de gran pendiente. Con cañones, acantilados y salientes intercostales.

La clasificación y valoración de la vegetación se basó principalmente en los resultados obtenidos de los transectos de vegetación, tomando en cuenta las especies más abundantes, asimismo de las observaciones en campo y del trabajo realizado por Turner y Brown (1982), para las comunidades del Desierto Sonorense. Asignándose los siguientes criterios:



VEGETACION: tipos de vegetación.

- 0 Bajada desértica; menos de 10% de pendiente, cobertura menor de 50%, particularmente asociación de *Fouquieria-Jatropha-Larrea* y predominio localizado de (*Larrea-Encelia*).
- 4 Parte media y alta de la bajada, intercalada con vegetación xeroriparia, con pendientes menores de 30% y cobertura de vegetación entre un 45 y 60%, principalmente asociaciones de *Bursera-Pachycereus*), (*Cercidium-Olneya-Acacia*), (*Jatropha-Simmondsia-Hymenoclea*).
- 8 Pie de monte, entre 30% y 60% de pendiente, cobertura vegetal de 45 a 60%, asociaciones similares a la anterior solo que empiezan a dominar arbustos como: *Lycium* spp. *Mimosa* spp; *Hibiscus denudatus*, *Trixis californica*.
- 10 Vegetación en pendiente alta, más de 60%; predominan áreas con cobertura vegetal promedio entre 50 y 70%; predominan asociaciones de subárboles como (*Acacia-Cercidium-Olneya*); arbustos (*Lycium* spp., *Hibiscus denudatus*, *Lippia palmeri*, *Jatropha cuneata*, *Solanum hindsianum*, *Simmondsia chinensis*, *Mimosa* sp. y cactáceas y suculentas como *Pachycereus pringlei*, *Stenocereus thurberi*, *Opuntia* spp. *Echinocereus* spp. y *Agave* spp.

Los valores de precipitación promedio anual, estacionalidad y días con neblina se obtuvieron de las dos estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio. Los registros de días con neblina de las estaciones meteorológicas, fueron muy bajos, y no reflejaban la realidad, particularmente en las partes medias y altas de la sierra por lo que se recurrió a las notas de campo. Así se ratificó la importancia de la neblina para el área de estudio, particularmente en los días de verano.

PRECIPITACION (Humedad ambiental):

- 0 De 80- 120 mm anuales; Principalmente en invierno con menos de 20 días con neblina al año.
- 4 De 120 a 160 mm anuales; principalmente en verano con 10 a 20 días con neblina al año.
- 8 De 160 a 200 mm anuales; tipo bimodal; con 20 a 40 días con neblina principalmente en verano.
- 10 Más de 200 mm anuales; bimodal; con más de 40 días con neblina al año.

El resto, uso humano, competencia, continuidad y expansión del hábitat. Se mantienen en esencia, muy similares a los establecidos en los modelos desarrollados anteriormente.

USO HUMANO:

- 0 Presencia humana alta (> 1000/año) y de alto potencial económico; Minería, Ganadería o Agricultura.
- 4 Presencia humana media (100-1000/año), con restringido potencial económico y poca infraestructura.
- 8 Presencia humana baja (< 100/año), con potencial económico bajo o restringido.
- 10 Relativamente sin presencia humana y sin potencial económico. Solamente presencia humana relacionada con la vigilancia y manejo de borrego cimarrón.

**FUENTES DE AGUA : Disponibilidad**

- 0 Irregular o casi nula durante todo el año; o fuente regular pero en terreno plano a más de 1 km de terreno con pendiente alta y terreno escabroso.
- 4 Regular (50%) principalmente en Invierno; o de construcción humana pero con obstrucción y a 1km de distancia de terreno con pendiente alta y escabroso.
- 8 Regular (50%) principalmente en Verano; o de construcción humana, en terreno undulado, sin barreras y a menos de 1 km de distancia de terreno de alta pendiente y escabroso.
- 10 Perenne y suficiente; o de construcción humana y en terreno con alta pendiente y rocoso.

**COMPETENCIA: (Principalmente con otros ungulados).**

- 0 Uso frecuente por animales domésticos; particularmente: cabras, borrego doméstico, vacas, burros, caballos, perros, etc.
- 4 Presencia de animales domésticos en forma temporal y algunos animales nativos y ferales.
- 8 Más utilizado por venado y otras especies de ungulados nativos que por el borrego.
- 10 Sin presencia actual o histórica, de animales domésticos y muy pocos ungulados nativos.

**CONTINUIDAD DE HABITAT Y POTENCIAL DE EXPANSION : Area**

En este caso para la definición de las áreas pequeñas, medianas y grandes, se utilizaron 27 sierras, ubicadas dentro del área de distribución actual del borrego, fueron digitalizadas de mapas topográficos 1:50,000 y analizadas mediante un sistema de información geográfica.

- 0 Hábitat de área pequeña ( $> 1\text{km}^2 < 15\text{km}^2$ ); cercado o con barreras de infraestructura humana, o separados por más de 3 km de terreno plano.
- 4 Hábitat de tamaño mediano ( $> 15\text{km}^2 < 60\text{km}^2$ ); de buen hábitat borreguero y separado de 1.5 a 3 km de terreno plano, con alta cobertura vegetal. Cortado solamente por caminos de terracería.
- 8 Hábitat de tamaño mediano; de buen hábitat borreguero separado por terreno plano a una distancia entre 0.5 a 1.5 km. Cortado solamente por veredas.
- 10 Hábitat amplio ( $> 60\text{km}^2$ ); de buen hábitat borreguero, separado de otro buen hábitat por menos de 0.5 km de terreno ondulado.

Cuando los valores para los siete componentes son sumados un valor de 90 puntos, es el valor máximo posible para cualesquiera de las celdas. Así, tomando como base el valor total obtenido de la sumatoria, la celda es catalogada dentro de un rango, el cual la clasifica como hábitat de calidad: Excelente, Bueno, Regular o Pobre. Los rangos y la clasificación de la calidad del hábitat del borrego cimarrón se definen como a continuación se presenta:

Rango	Clasificación de Calidad
0 - 20	Pobre
21 - 40	Regular
41 - 66	Buena
67 - 90	Excelente.