



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS



“Una propuesta de manejo para el hábitat del borrego cimarrón (*Ovis canadensis*),
en Sierra Juárez, Baja California, México”



TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta

Enrique de Jesús Ruiz Mondragón

Ensenada B.C., Agosto del 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

"Una propuesta de manejo para el hábitat del borrego cimarrón (*Ovis montanus*),
en Sierra Juárez, Baja California, México"

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta

Enrique de Jesús Ruiz Mondragón

Aprobado por



Dr. Guillermo Romero Figueroa



Dr. Bernardino Ricardo Eaton González



Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal

En portada

“El Borrego Cimarrón en las Islas Celestes de la Montaña”

Pintura de Juan Ángel Castillo, tomada del libro:

Baja California, Tierra del Tiempo Detenido (2006)

Dedicado

A mi Esposa e Hijo

Los amo, son la alegría de mi vida

Agradecimientos

A CONACyT por la beca de posgrado y movilidad otorgada a mi persona, pues sin ellas me habría sido imposible realizar mis estudios de maestría

A la Facultad de Ciencias de la UABC por absorber los gastos de inscripción a la maestría

A la UABC por financiar el proyecto “Modelación de nicho ecológico para ungulados; borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) y venado bura (*Odocoileus hemionus*) en la Sierra Juárez, Baja California”

Al Dr. Georges Seingier por cubrir los gastos generados en la elaboración del material de divulgación de este trabajo de tesis

A mi familia por su apoyo incondicional

Al Dr. Guillermo Romero Figueroa por haber creído en mí e invitarme a participar en la maestría

A mis sinodales por haberse dado un tiempo en su apretadísima agenda para revisar esta tesis

Al núcleo base de la maestría por sus valiosas enseñanzas y la pasión que muestran hacia el manejo de los ecosistemas

A Aldo Guevara y Jorge Reyes por ser amigos de verdad y además facilitar el material necesario para realizar el trabajo de campo

A los propietarios de los ranchos; El Alamar (Vizcarra), El Alamar (Duques), El Topo y Campo el Palmar de Guadalupe, por las facilidades otorgadas para realizar el trabajo de campo

A los muchachos de licenciatura: Cristián, Jesús, Daniel y Omar por su apoyo en el trabajo de campo

Índice

Resumen	9
Abstract	11
I. Introducción	13
II. Antecedentes	15
2.1 Taxonomía y distribución	15
2.2 Biología del borrego cimarrón	18
2.3 Comportamiento y alimentación	21
2.4 Modelos de nicho ecológico	22
2.5 Investigaciones del hábitat del borrego cimarrón en México	24
III. Objetivos	28
3.1 Objetivo General	28
3.2 Objetivo particular	28
IV. Material y métodos	29
4.1 Área de estudio	29
4.2 Generación de la base de datos de evidencias del borrego cimarrón	33
4.3 Caracterización biogeográfica del área de estudio	33
4.4 Modelación del nicho ecológico	37
4.5 Evaluación de la calidad del hábitat	38
4.6 Propuesta de Manejo	41
V. Resultados	42
VI. Plan de manejo	54
6.1 Matriz FODA	54
6.2 Objetivo general	55
6.3 Líneas estratégicas	56
6.3.1 UMA Ejido Cordillera Molina	56
6.3.2 Vigilancia	57
6.3.3 Mantenimiento de cuerpos de agua superficiales	59
6.3.4 Aprovechamiento sostenible	60
6.3.5 Zonificación	62
6.3.6 Tiradero de la Rumorosa	63
6.3.7 Diversificación productiva	65
VII. Discusión	68
VIII. Conclusiones	77
IX. Literatura citada	79
X. Anexos	92

Lista de figuras

Figura 1. Distribución histórica y actual del borrego cimarrón

Figura 2. *Ovis dalli* y *Ovis canadensis*

Figura 3. Sierras donde se distribuye el borrego cimarrón en Baja California, México

Figura 4. Borrego cimarrón en la Rumorosa, Sierra Juárez

Figura 5. Área borreguera de Sierra Juárez en donde se muestra la tenencia de la tierra y los sitios de muestreo

Figura 6. Tipos de vegetación de Sierra Juárez

Figura 7. Tipos de clima de Sierra Juárez

Figura 8. Huella y grupo de excretas de borrego cimarrón en Sierra Juárez

Figura 9. Histogramas de frecuencias de las variables biogeográficas de la zona borreguera de Sierra Juárez

Figura 10. Tipos de clima actualizados de la zona de cañones de Sierra Juárez

Figura 11. Dominios ambientales de la zona de cañones de Sierra Juárez

Figura 12. Dendrograma de la similitud entre los dominios ambientales de la zona de cañones de Sierra Juárez

Figura 13. Modelo de nicho ecológico del borrego cimarrón en Sierra Juárez

Figura 14. Gráficos de omisión y área predicha promedio, y sensibilidad promedio del receptor de funcionamiento característico obtenidos de la modelación realizada para *Ovis canadensis* en Sierra Juárez

Figura 15. Prueba Jackknife de la significancia de las variables en el entrenamiento, prueba y funcionamiento del modelo

Figura 16. Curvas de respuesta de los datos de presencia de la especie a cada variable ambiental utilizada para la generación del modelo de máxima entropía

Figura 17. Evaluación del hábitat del borrego cimarrón en la región norte de Sierra Juárez

Figura 18. Evaluación del hábitat del borrego cimarrón en la región central de Sierra Juárez

Figura 19. Esquema del plan de manejo para el hábitat del borrego cimarrón en Sierra Juárez

Figura 20. Propuesta de plan de manejo para el hábitat del borrego cimarrón en Sierra Juárez

Lista de tablas

Tabla 1. Equivalencias entre los puntos cardinales y los grados de orientación de las laderas

Tabla 2. Categorías de escabrosidad del terreno

Tabla 3. Categorías de vegetación de acuerdo con los valores del NDVI

Tabla 4. Parámetros Bioclimáticos

Tabla 5. Valoración de la topografía

Tabla 6. Valoración de la vegetación

Tabla 7. Valoración de la disponibilidad del agua

Tabla 8. Valoración de la fragmentación del hábitat

Tabla 9. Valoración de la competencia

Tabla 10. Valoración de la frecuencia de uso por el borrego cimarrón

Tabla 11. Valoración del impacto humano

Tabla 12. Evaluación de la calidad del hábitat

Tabla 13. Contribución de las variables topográficas y ambientales en la construcción del modelo

Tabla 14. Resultados de la evaluación de la calidad del hábitat para el borrego cimarrón en Sierra Juárez

Tabla 15. Matriz FODA para el manejo del hábitat del borrego cimarrón en Sierra Juárez

Resumen

El borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) es una especie emblemática y se considera un trofeo con un valor muy alto entre cazadores a nivel mundial. Objetivos divergentes de manejo (cacería y protección) han causado serios conflictos entre diversos actores sociales, políticos y académicos del país, en especial de Baja California. En este estado, debido a las dimensiones de su hábitat y al comportamiento errático y gregario de su población, el manejo de la misma requiere una zonificación para establecer una estrategia espacial con diversas intensidades de uso. Por tanto el objetivo de la presente tesis fue modelar el nicho ecológico del borrego cimarrón en Sierra Juárez. Se utilizó el algoritmo de máxima entropía (Maxent), con los registros de un censo aéreo de 2012 y de un rastreo en doce sitios de la serranía entre enero y junio de 2016. La modelación se complementó con una evaluación de calidad de hábitat para la especie. Los resultados demostraron que en las regiones del norte y centro de Sierra Juárez se tienen las condiciones medioambientales típicas en que el borrego cimarrón se distribuye, las cuales se encuentran en buen estado de conservación. En un sistema de información geográfica se identificaron los sitios de mayor importancia para la especie, que corresponden a los lechos de los principales arroyos de la cordillera, los cuales brindan refugio y recursos a los organismos para desarrollar sus actividades de alimentación, crianza y reproducción, además se localizaron los lugares amenazados debido al impacto antrópico producto de su cercanía con los núcleos de población rural. Con base en estos resultados se propone un plan de manejo con siete objetivos estratégicos. Los cuales son: integrar a la UMA Ejido Cordillera

Molina la totalidad del área de distribución del borrego cimarrón perteneciente al mismo ejido; vigilar el área de distribución de la especie; conservar en buen estado los cuerpos de agua superficiales que frecuentan los organismos; promover el aprovechamiento sostenible del borrego cimarrón; zonificar Sierra Juárez para el manejo del borrego; sanear y clausurar el tiradero a cielo abierto de la Rumorosa; y promover la diversificación productiva del hábitat del borrego cimarrón para aprovechar su potencial turístico. La estrategia se basa en promover la organización de los ejidatarios (poseedores del recurso) para, por un lado proteger a la población del borrego cimarrón y por otro lado, conservar su hábitat. Se espera que si la estrategia se lleva acabo, se asegurara la conservación a largo plazo tanto de una especie emblemática como de su entorno.

Palabras Clave: Borrego Cimarrón, Borrego Peninsular, Borrego Silvestre, Evaluación del Hábitat, Máxima Entropía, Modelación de Nicho Ecológico, Propuesta de Manejo, Sierra Juárez.

Abstract

The bighorn sheep (*Ovis canadensis*) is an emblematic species and is considered a trophy with a very high value among hunters worldwide. Divergent management objectives (hunting and protection) have caused serious conflicts between various social, political and academic actors in the country, especially in Baja California. In this state, due to the dimensions of its habitat and to the erratic and gregarious behavior of its population, the management of the same requires a zoning to establish a spatial strategy with different intensities of use. Therefore the objective of this thesis was to model the ecological niche of the bighorn sheep in Sierra Juárez. The maximum entropy algorithm (Maxent) was used, with the records of an aerial census of 2012 and of a tracking in twelve sites of the mountain range between January and June of 2016. The modeling was complemented by a habitat quality assessment for the species. The results showed that the northern and central regions of Sierra Juárez have the typical environmental conditions in which the bighorn sheep are distributed, which are in good state of conservation. In a geographic information system were identified the sites of major importance for the species, which correspond to the riverbeds of the main streams of the cordillera, which provide refuge and resources to the organisms to develop their activities of feeding, breeding and reproduction, In addition they were located the threatened places due to the anthropic impact of its proximity with the nuclei of rural population. Based on these results, a management plan with seven strategic objectives is proposed. Which are: integrate to the UMA Ejido Cordillera Molina the entire distribution area of the bighorn sheep belonging to the same ejido; monitor the range

of the species; to keep in good condition the surface water bodies that frequent the organisms; promote the sustainable use of bighorn sheep; to zonify Sierra Juárez for the management of the sheep; clean and close the open dump of the Rumorosa; and promote the productive diversification of the habitat of the bighorn sheep to take advantage of its tourist potential. The strategy is based on promoting the organization of ejidatarios (owners of the resource) to protect the population of the bighorn sheep on the one hand and, on the other hand, to conserve their habitat. It is expected that if the strategy is carried out, it will ensure the long-term conservation of both an emblematic species and its environment.

Keywords: Bighorn Sheep, Ecological Niche Modeling, Habitat Evaluation, Management Proposal, Maximum Entropy, Peninsular Sheep, Sierra Juárez, Wild Sheep.

I.- Introducción

El borrego cimarrón es una especie emblemática mexicana con un alto valor cinegético, los precios de los permisos para su cacería oscilan entre los \$45,000 y \$60,000 USD (Lee, 2011; Ruiz, 2014). Estos montos están vinculados a la demanda por parte de los clubes de caza internacionales y a los permisos limitados que México otorga para su aprovechamiento extractivo.

Debido al tamaño actual de sus poblaciones, tiene un estatus de “especie sujeta a protección especial” de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010). Así mismo esta enlistada en el Apéndice II del Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres.

Motivos por los cuales el aprovechamiento sostenible de la especie requiere de planes de manejo integrales, adaptativos y diseñados con base en información científica sólida y que atienda las necesidades e intereses de los poseedores del recurso. Asimismo, los planes de manejo poblacionales y ecosistémicos tienen que contemplar estrategias adecuadas a la dinámica particular de las especies y lugares donde se distribuyen. Además deben nutrirse continuamente con el aprendizaje adquirido durante el propio manejo. Y considerar tanto los aspectos biológicos, como los sociales, los económicos y los políticos del contexto donde se encuentra inmerso el recurso (Walters, 1986; Mandujano, 1994).

Hay autores que mencionan que las dimensiones del hábitat del borrego cimarrón resultan ser tan extensas como para proponer estrategias de manejo costeables para toda su área de distribución (Eaton, 2002; García, 2014). Por ello se

recomienda ubicar los sitios prioritarios para los organismos y dirigir los esfuerzos de manejo en un esquema espacial diferenciado. Los modelos de nicho ecológico son herramientas metodológicas que permiten generar este tipo de información. La expresión espacial de los algoritmos permite identificar la idoneidad del hábitat para el desarrollo de una especie como es el borrego cimarrón. Para que eso suceda, es necesario incluir observaciones de campo (registros de presencia y ausencia) y variables ambientales (clima, topografía, vegetación, entre otros) que actúan como predictores. El resultado es un mapa de las zonas parecidas entre sí en términos geográficos, y la asociación de los puntos de ocurrencia de la especie (Soberón y Peterson, 2005; Ferrier y Guisan, 2006; Naoki *et al.*, 2006).

Sierra Juárez inicia en la frontera con los Estados Unidos de Norte América en la Rumorosa y se prolonga al sur hasta el Valle de la Trinidad. Se considera una isla biogeográfica al ser única en México por su origen boreal (Delgadillo y Peinado, 2008). Así mismo es un área clave para la conectividad funcional de las poblaciones de vida silvestre porque se ubica en una frontera internacional (Buchalski *et al.*, 2015; Esquivel, 2015). En esta cadena montañosa nacen seis cuencas hidrológicas que desembocan a las principales ciudades del estado; Mexicali, Tecate y Tijuana (Gastelum, 1997), por lo que la convierten en una región prioritaria para el desarrollo de acciones que garanticen su conservación.

II. Antecedentes

2.1 Taxonomía y distribución

Clase: Mammalia

Orden: Artiodactyla

Familia: Bovidae

Género: Ovis

Especie: *Ovis canadensis* Shaw, 1804

Sub especie: *Ovis canadensis cremnobates* Elliot, 1903

Ovis canadensis nelsoni Merriam, 1897

Ovis canadensis weemsi Goldman, 1937

El borrego cimarrón proviene de Asia y migró hacia América a través del estrecho de Bering durante las glaciaciones del Pleistoceno, hace aproximadamente 85,000 años, a partir de dónde se dispersaron hacia el sur hasta llegar a Baja California hace aproximadamente 12,000 años (Lee, 1989).

Se distribuye en algunas de las regiones desérticas más calurosas e inhóspitas de Norteamérica, así como en las regiones alpinas más altas y frías. A través del oeste de Canadá y Estados Unidos hasta el norte de México (Valdez y Krausman, 1999) (Figura 1).

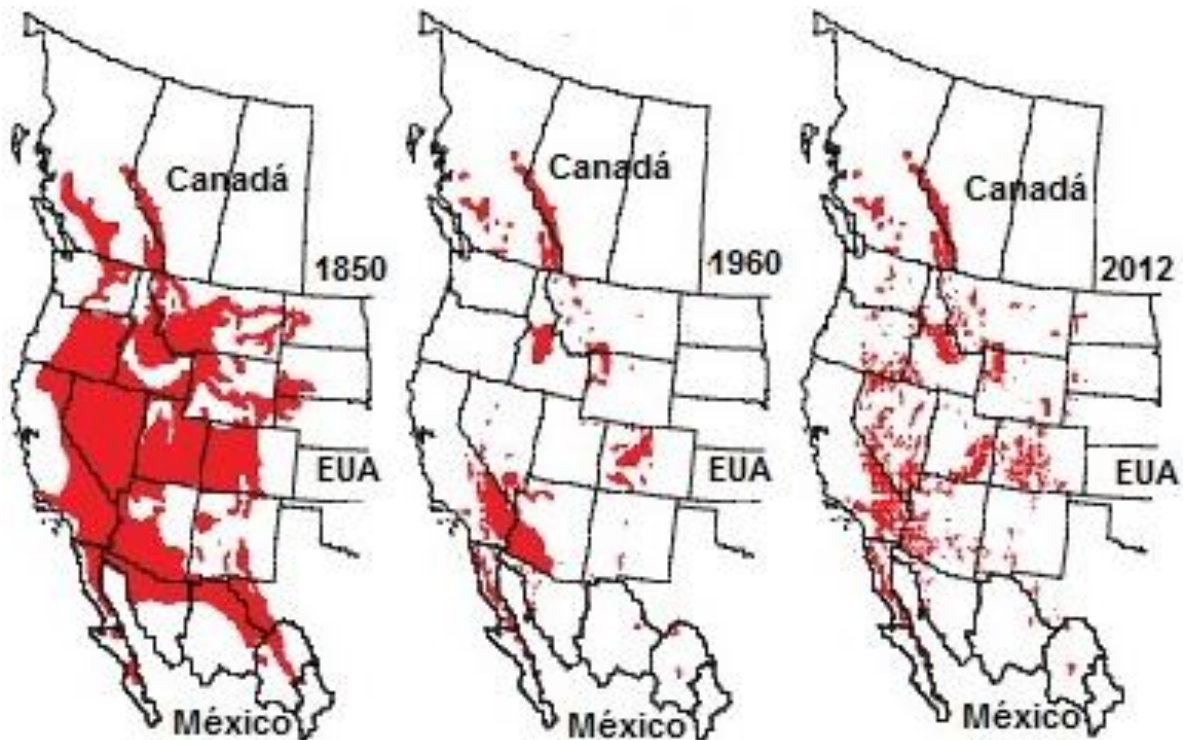


Figura 1. Distribución histórica y actual del borrego cimarrón (Wild Sheep Foundation, 2012).

El hábitat típico de esta especie es el terreno quebrado con cañones y aluviones, accidentado y rocoso, con temperaturas extremas, evitando generalmente áreas con vegetación alta que obstruya su visibilidad. Los elementos del hábitat más importantes para el borrego son el terreno de escape, la altitud, vegetación/alimento, el espacio y la distancia a los cuerpos de agua (Monson y Sumer, 1980; Wilson *et al.*, 1980; Holl, 1982).

En América existen dos especies de borrego silvestre (Figura 2), *Ovis dalli* (Canadá y Alaska) y *Ovis canadensis* (Estados Unidos y México). Especies que se diferencian por el pelaje, el cual es más denso y largo en *O. dalli*, y la cornamenta, que es menos extendida lateralmente pero más gruesa y corrugada en *O. canadensis* (Valdez y Krausman, 1999; Álvarez y Medellín, 2005).



Figura 2. *Ovis dalli* (izquierda) *Ovis canadensis* (derecha) (Smithsonian Institution, 2016).

En México originalmente se encontraban en las áreas montañosas de los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua y Coahuila; sin embargo, en la actualidad solo se encuentran en Sonora y en la península de Baja California en estado silvestre. Los factores que provocaron la reducción de sus poblaciones y de su área de distribución fueron 1) la cacería ilegal, 2) la fragmentación de su hábitat y 3) la introducción de la ganadería que desplazo a sus poblaciones e incrementó la presencia de enfermedades infecciosas y parasitarias (INE y DGVS, 2000).

En Baja California se tiene reportada la presencia de tres subespecies de borrego cimarrón (también conocido como borrego peninsular); *Ovis canadensis nelsoni*, en la zona norte de Sierra Juárez, *Ovis canadensis cremnobates*, en las sierras Cucapá, Juárez, Las Tinajas, Las Pintas, San Pedro Mártir, San Felipe, Santa Isabel, Calamajué, La Asamblea, La Libertad, Las Animas, Agua de Soda y Los Paredones, y *Ovis canadensis weemsi*, que se distribuye desde la Sierra de San Felipe hasta los Paredones (Salmon, 1999; INE y DGVS, 2000; Gobierno del Estado de Baja California, 2012; Lee *et al.*, 2012; Buchalski *et al.*, 2015) (Figura 3).

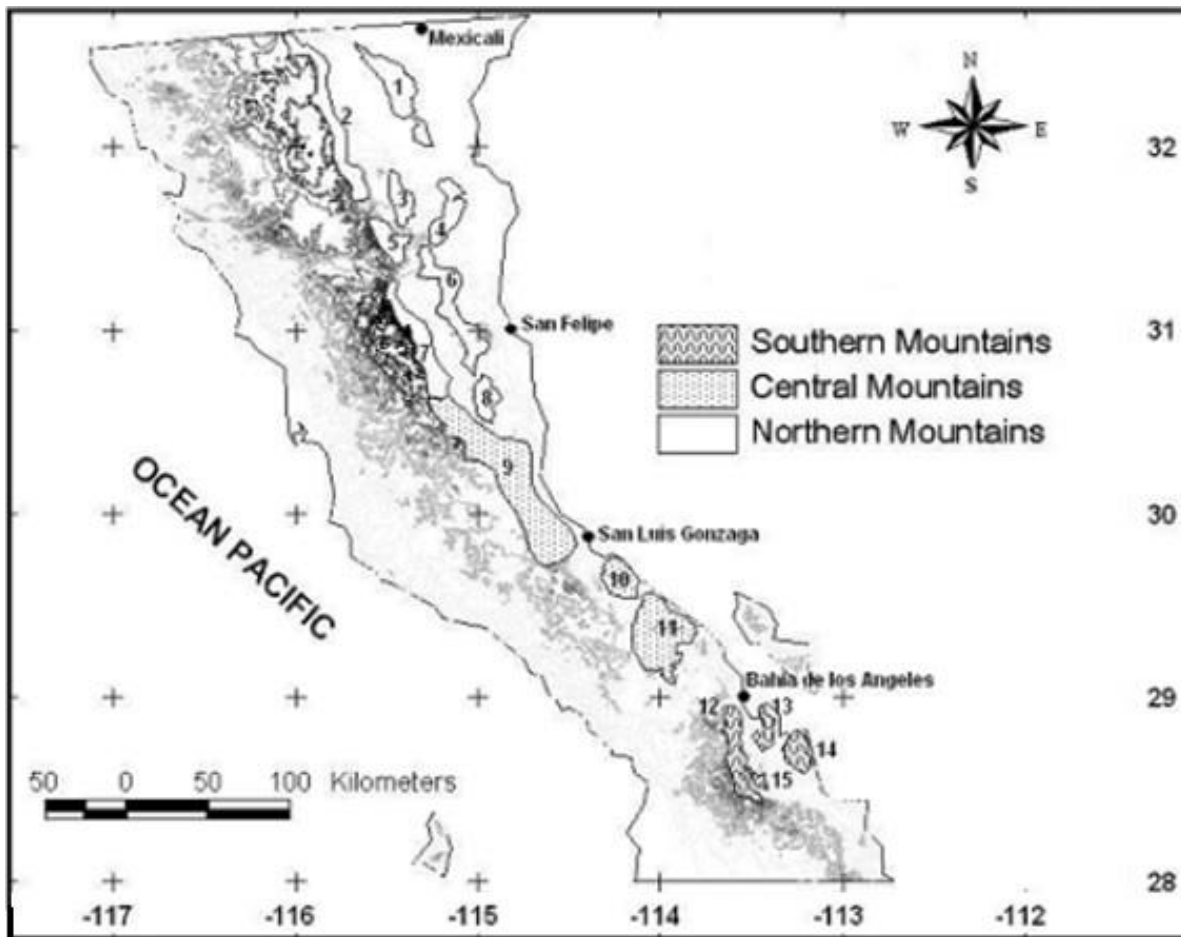


Figura 3. Sierras donde se distribuye el borrego cimarrón en Baja California, México. 1 – Cucapá; 2 – Juárez; 3 – Las Tinajas; 4 – Las Pintas; 5, 6, 8 – San Felipe; 7 – San Pedro Mártir; 9 – Santa Isabel; 10 – Calamajué; 11 – La Asamblea; 12 – La Libertad; 13 – Las Animas; 14 – Agua de Soda; 15 – Los Paredones (Lee *et al.*, 2012).

2.2 Biología del borrego cimarrón

El rasgo más notable y característico de la especie lo constituye la cornamenta de los machos, recurvada, larga y masiva, que puede llegar a representar hasta el 10% del peso del animal (Figura 4). Esta crece anualmente en la temporada de celo, es gruesa en la base y se curva hacia afuera y abajo a medida que crece hasta el cuarto y quinto año, posteriormente se dirigen hacia arriba y adelante, dando la forma en espiral típica de la especie (Smith y Krausman, 1988).

Los machos adultos pesan entre 70 y 91 kg, miden de 76 a 100 cm de altura hasta los hombros y 150 cm de longitud, en tanto que la hembra es más ligera y pequeña, ya que pesa en promedio 50 kg (Smith y Krausman, 1988).

La subespecie *Ovis canadensis cremnobates* es de pelo color café salvado (se considera la especie de borrego cimarrón con el pelaje más pálido), cornamenta café claro, lustrosa y con corrugado bien definido. Su localidad tipo corresponde a la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California. A esta subespecie pertenecen algunos de los primeros lugares en cornamentas en el mundo en materia de borregos del desierto, según lo registran los libros de trofeo (Cowan, 1940; INE y DGVS, 2000).

Ovis canadensis nelsoni tiene un pelaje que varía del café grisáceo al gris ceniza, su cornamenta es delgada, pálida y fuertemente corrugada. Posee orejas largas, grandes dientes molares y su parche de las ancas es pequeño. Su localidad tipo corresponde a las Montañas de la Vid entre los estados de California y Nevada, EUA. (Cowan, 1940; Ingles, 1965; Hall, 1981).

Ovis canadensis weemsi es de pelaje café rojizo muy oscuro, la parte posterior de las extremidades y ancas es blanca, el rabo es corto y oscuro. Posee una cornamenta irregular y profundamente corrugada, lustrosa de color café rojizo intenso. El ejemplar tipo de esta subespecie proviene de la sierra la Giganta en Baja California Sur. (INE y DGVS, 2000).

La esperanza de vida para los borregos es de doce años. El período de mayor mortandad es durante los primeros seis meses de vida. Entre el primer y noveno

año la tasa de mortalidad es baja, lo que parece sugerir que esta especie no se halla fuertemente afectada por enfermedades o depredadores (Lee, 1998; Krausman *et al.*, 1999).



Figura 4. Borrego cimarrón en la Rumorosa, Sierra Juárez. Foto de cámara trampa (Guillermo Romero)

Las hembras alcanzan la madurez sexual entre el primero y segundo año de edad siendo la edad mínima de reproducción a los trece meses, mientras que los machos llegan a la plenitud sexual por razones sociales aproximadamente a los ocho años (Nowak, 1991).

El cimarrón de desierto tiene una estación reproductiva que dura aproximadamente de julio a diciembre (Nowak, 1991). El ciclo estral tiene una duración de 29 ± 5 días y el anestro estacional es de cuatro meses (Soto, 2006).

El período de gestación es de 180 días aproximadamente, dando a luz, entre los meses de enero a junio, a una sola cría y ocasionalmente a dos, las cuales son lanudas y blancas completamente. La lactación dura entre cinco y seis meses donde el cordero alterna la leche materna con el consumo de alimento sólido en los últimos meses de esta etapa (Schoenecker *et al.*, 2004; Soto, 2006).

2.3 Comportamiento y alimentación

Los borregos representan un caso peculiar de adaptación al medio ya que su distribución en las regiones áridas y montañosas está asociada con actividades conductuales. Estos animales son activos en las horas de menor insolación, por la mañana y por la tarde, de igual modo, permanecen cerca de los cuerpos de agua en un rango que varía de uno a cinco kilómetros aproximadamente, o buscan los sitios elevados y cubiertos donde el microclima es más fresco (Smith y Krausman, 1988).

Pasan la mayor parte de su vida en una misma zona y siguen las rutas que aprendieron de los animales mayores. Realizan movimientos estacionales como respuesta a diversos factores que le permiten cumplir una función vital (alimentación, reproducción, parición, etc.), desplazamientos que difieren según el sexo y la edad del animal (Wilson *et al.*, 1980; Holl, 1982).

Viven en grupos con una jerarquía social rígida y cuya integridad se mantiene flexible en todo el año. Estos pueden ser clasificados de acuerdo a su composición en: Grupos de apareamiento, que consisten de hembras adultas y machos adultos.

Grupos de hembras y jóvenes, constituidos por hembras acompañadas de corderos y machos socialmente inmaduros (menores de tres años). Y grupos de machos, usualmente mayores de cuatro años (Krausman *et al.*, 1999).

En orden de importancia su alimentación consiste de arbustos, hierbas, y pastos pertenecientes a las familias de las compuestas, fabáceas, gramíneas y cactáceas principalmente, siendo las especies más importantes en su dieta: Canutillo (*Ephedra nevadensis*), yerba santa (*Erioduction angustifolium*), flor amarilla (*Senecio spartioides*), palo zorrillo (*Ceanothus gregii*), trigo de California (*Eriogonum fasciculatum*), jojoba (*Simmondsia chinensis*), arbusto plateado del desierto (*Ditaxis lanceolata*), pata de gallo (*Galium wigginsii*), tronador (*Cardiospermum corindum*), pasto anual (*Bromus ciliatus*), pasto de la sierra (*Erioneuron pulchellum*), biznaga (*Ferocactus* sp.) y mezcal (*Agave* sp.). Tanto machos como hembras se alimentan de las mismas plantas pero en diferentes proporciones siendo más selectivas las hembras durante el periodo de lactancia (Reyes, 1976; Sánchez, 1978; Galindo, 2000; Peraza, 2004).

2.4 Modelos de nicho ecológico

Son representaciones de la idoneidad geográfica para el desarrollo de una especie en concreto, calculadas a partir de un algoritmo que relaciona las observaciones de campo (registros de presencia y ausencia) y una serie de variables ambientales (clima, topografía, vegetación, entre otros), que actúan como predictores. Para

bosquejar en un mapa las regiones parecidas a la de los puntos de ocurrencia de la especie (Soberón y Peterson, 2005; Ferrier y Guisan, 2006; Naoki *et al.*, 2006).

Esta información permite ubicar los mejores sitios para hacer exploraciones directas, la priorización de zonas para iniciativas de conservación biológica y restauración ecológica, modelaciones de efectos del cambio climático sobre los ecosistemas, y la evaluación de patrones de propagación de especies invasivas (Morales, 2012).

A pesar de que existe una amplia gama de métodos para elaborar modelos de nicho, el basado en la aproximación estadística llamada máxima entropía y ejecutado por el software Maxent (Phillips, 2013) posee algunas ventajas por sobre los demás: puede funcionar solo con datos de presencia, mientras que otros modelos requieren datos de presencia y ausencia; su consistente buen desempeño en comparación con otros métodos similares, especialmente con un número pequeño de muestras (Elith *et al.*, 2006; Phillips *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2008); y su disponibilidad gratuita.

El software Maxent además de elaborar el modelo de nicho, genera información acerca de: la precisión predictiva del modelo, mediante el cálculo del área bajo la curva (AUC) del receptor de funcionamiento característico (ROC); la fracción de los sitios clasificados erróneamente como ausencias (errores de omisión), con el cálculo de la tasa de omisión y área predicha promedio; el cómo afectan el cambio en los valores de las variables utilizadas en la generación del modelo a la probabilidad de encuentro de la especie, por medio de la elaboración de curvas de respuesta; y la importancia que cada variable tiene en la construcción del modelo,

utilizando la prueba de *Jackknife*, la cual genera una tabla de porcentaje de contribución de las mismas y una serie de graficas en las que se muestra el funcionamiento del modelo cuando se excluye cada una de estas (Phillips *et al.*, 2006; Benito de Pando y Peña de Giles, 2007).

2.5 Investigaciones del hábitat del borrego cimarrón en México

La primera investigación en incorporar modelos estadísticos y sistemas de información geográfica (SIG) para el estudio del borrego cimarrón en México fue realizada por Montoya en 1998, quien evaluó la calidad del hábitat del borrego cimarrón en la Sierra San Pedro Mártir, para identificar tanto las perturbaciones en el área, como los elementos estructurales que determinan la presencia de la especie. Esta autora encontró que el fuego es la único evento en San Pedro Mártir que afecta la estructura del hábitat (el cual parece tener un efecto positivo sobre la población de borregos), y que los principales componentes del hábitat para la especie son la altitud, la pendiente, la pedregosidad y la cobertura vegetal.

López *et al.* (1999) evaluaron la importancia de la relación entre el borrego cimarrón y el componente topográfico de su hábitat, mediante técnicas de uso-disponibilidad, en la sierra desértica conocida como Pico-Johnson, en el Estado de Sonora. Estos autores hallaron que los borregos no utilizan los componentes topográficos según su proporción, que algunos de estos son preferidos (altitudes superiores a los 300 m, pendientes mayores de 60%, orientaciones (S-SW-W) y topoformas de tipo ladera de cañón) y otros son evadidos o utilizados en igual proporción. Además,

evaluó los sitios donde estos animales duermen y descansan (echaderos), y encontraron patrones muy similares de uso.

Lara *et al.* (2001) utilizaron el método de Monte Carlo y simularon una caminata aleatoria del borrego en la Sierra San Pedro Mártir, para identificar y ubicar los elementos del hábitat que determinan los sitios de preferencia de la especie, en la región. Resultaron ser la altitud, la pendiente, la pedregosidad y la cobertura vegetal.

Para elaborar una estrategia de manejo del borrego cimarrón en la Sierra San Pedro Mártir, Eaton (2002) combinó bases de datos con un SIG y modelos lineales generalizados y determinó las áreas de mayor probabilidad de ocurrencia de la especie en la cordillera. Encontró que la zona de los cañones (entre el parteaguas y el desierto), resultó ser la más importante para la conservación de los grupos de borregos, debido a que presentan una gran oferta ambiental y son zonas de difícil acceso para el humano.

En 2003 Guerrero *et al.*, evaluó algunos componentes del hábitat del borrego cimarrón en la Sierra del Mechudo, B.C.S., mediante técnicas de uso-disponibilidad. Estos autores llegaron a conclusiones similares a las de López *et al.* (1999), ya que encontraron que los borregos no utilizan los componentes topográficos e hídricos según su proporción. Ellos mencionan que algunos de estos son preferidos (alturas de 100-200 m, pendientes mayores de 60%, orientaciones sureste, distancia al terreno de escape, menor de 100 y de hasta 200 m, distancias a los aguajes de 100-200 m y prefieren topoformas del tipo de punta de cerro y laderas de cerro), mientras que otros son claramente evadidos.

Durante el muestreo terrestre de la población de borrego cimarrón en Baja California realizado en 2010, Martínez (2011) diseñó una metodología para evaluar la calidad del hábitat para la especie y la aplico en 54 localidades distribuidas en las sierras borregueras del estado. Estas en su mayoría, por su estado de conservación y sus condiciones medioambientales, se consideraron como importantes para el borrego y algunas incluso de vital importancia para los organismos.

Mesa (2013) relaciono la topografía, la vegetación, los cuerpos de agua superficiales, la minería, la ganadería y la cacería en la Sierra del Mechudo en un SIG, y elaboro un diagnóstico del hábitat del borrego cimarrón en esta cordillera. Concluye que hasta ese año era mínimo el impacto humano en la zona borreguera de la Sierra. No obstante, menciona que la ocurrencia de ungulados domésticos (vacas, burros y chivos) disminuyó la presencia de borrego cimarrón en el sitio por la competencia de agua, alimento y espacio.

García 2014 determinó que el hábitat disponible para el borrego cimarrón en Sierra Juárez era de 520 km². Este resultado lo obtuvo con la relación del relieve, el suelo, el clima, la vegetación y los 80 especímenes observados en un monitoreo aéreo que realizó el Zoológico de San Diego en Sierra Juárez en noviembre de 2012.

Taxis (2014) caracterizó el hábitat del borrego cimarrón en La Rumorosa. Relaciono en un sistema de información geográfica el tipo de cobertura vegetal, la altura, y el grado de inclinación y exposición de las pendientes de la zona, y establece que en esta área el hábitat potencial para el borrego es de 66.4 km².

Aunque de las investigaciones del hábitat del borrego cimarrón se ha generado información indispensable para el manejo de la especie en Sierra Juárez, como es la delimitación de su hábitat natural y las preferencias que tienen los organismos para seleccionar sus sitios de resguardo, alimentación y crianza. No ha sido posible diseñar una estrategia de manejo ni para la especie ni para su entorno, pues se desconocen: los límites de su distribución potencial, los sitios con mayor probabilidad de incidencia de los organismos y el estado de conservación en que se encuentra su hábitat. Por tanto el objetivo de la presente tesis fue responder estas preguntas de investigación por medio de una modelación de nicho ecológico y una evaluación de calidad del hábitat, para elaborar una propuesta de manejo integral del hábitat del borrego cimarrón, que asegure el mantenimiento e incremento de la población de la especie y la generación de beneficios a los poseedores del recurso.

III. Objetivos

3.1 Objetivo general

Diseñar una propuesta de manejo integral para el hábitat del borrego cimarrón en Sierra Juárez, Baja California.

3.2 Objetivos particulares

- Generar una base de datos de registros geográficos del borrego cimarrón en Sierra Juárez.
- Caracterizar los elementos estructurales de Sierra Juárez que afectan la distribución del borrego cimarrón.
- Modelar el nicho ecológico del borrego cimarrón en Sierra Juárez.
- Evaluar la calidad del hábitat para el borrego cimarrón en doce sitios de Sierra Juárez.

IV. Material y métodos

4.1 Área de estudio

La zona de cañones de Sierra Juárez cubre un área aproximada de 145 105 ha. La tenencia de la tierra la comparten los ejidos Emiliano Zapata, Cordillera Molina, Misión de Santa Catarina, Jamau y 16 de Septiembre (RAN, 2016) (Figura 5).

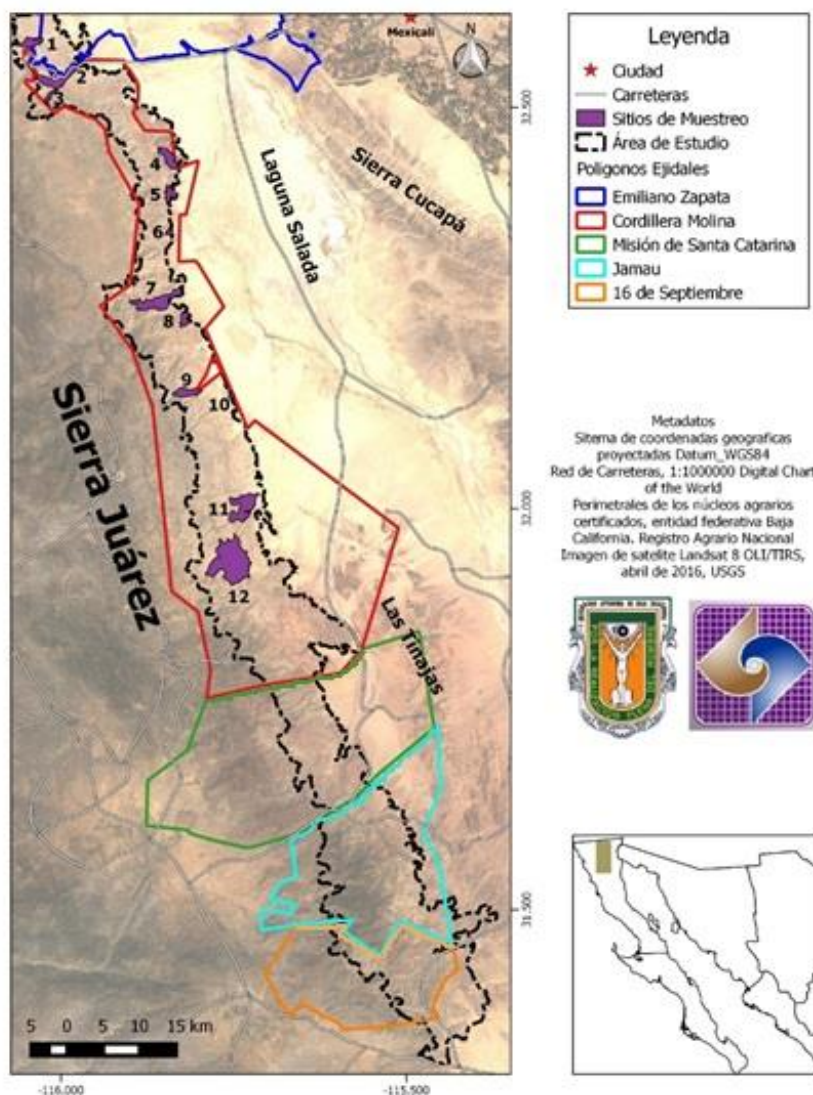


Figura 5. Área borreguera de Sierra Juárez en donde se muestra la tenencia de la tierra y los sitios de muestreo. 1 – Cañón de Los Álamos; 2 – Cañón de los Llanos; 3 – Cañón del Ranchito; 4 – Cerros Boludos; 5 – Cerros de la Ponderosa; 6 – La Rosa; 7 – Cañón del Tajo; 8 – Cerros de los Laureles del desierto; 9 – Cañón de Guadalupe; 10 – Cerros del Ejido Manatou; 11 – Cañón del Alamar; 12 – Cañón del Palomar.

Fisiográficamente, la zona está conformada por un macizo serrano asimétrico que es escarpado hacia el oriente y de pendiente general suave hacia el poniente.

La unidad geo hidrológica a la que pertenece es de material consolidado con posibilidades bajas de contener agua. Básicamente está formada por rocas ígneas intrusivas, granodiorita y tonalita; así como por esporádicos afloramientos de gneis, esquisto, meta sedimentos, diorita, granito, dacita y basalto; está afectada por fallas de variada dimensión orientadas generalmente en sentido norte-sur. De las fracturas que afectan el área algunas son rellenadas con sílice y otras se pierden a poca profundidad (SPP, 1981).

La vegetación es de seis tipos: bosque de pino en las cimas más altas, con especies características, como: *Pinus Jeffrey*, *Pinus quadrifolia*, *Pinus monophylla* y *Juniperus californica*; chaparral que cubre el lado oeste de la sierra, con una amplia presencia de vara prieta (*Adenostoma fasciculatum*) y vara roja (*Adenostoma sparsifolium*), acompañadas por una mezcla variada de especies de los géneros *Ceanothus*, *Arctostaphylos* y *Quercus*; matorral desértico microfilo en la cara este de la serranía, con especies como la jojoba (*Simmondsia chinensis*) y el palo fierro (*Olneya tesota*); parches de matorral desértico rosetófilo con especies como el mezcal (*Agave* sp.); palmar natural en los cañones que cuentan con agua todo el año, donde domina la palma de taco (*Brahea brandegeei*); y vegetación de galería en los cauces de los arroyos, con especies como el palo Adán (*Fouquieria peninsularis*) y el palo verde (*Parkinsonia aculeata*) (Gonzales et al., 2010; INEGI, 2013) (Figura 6).

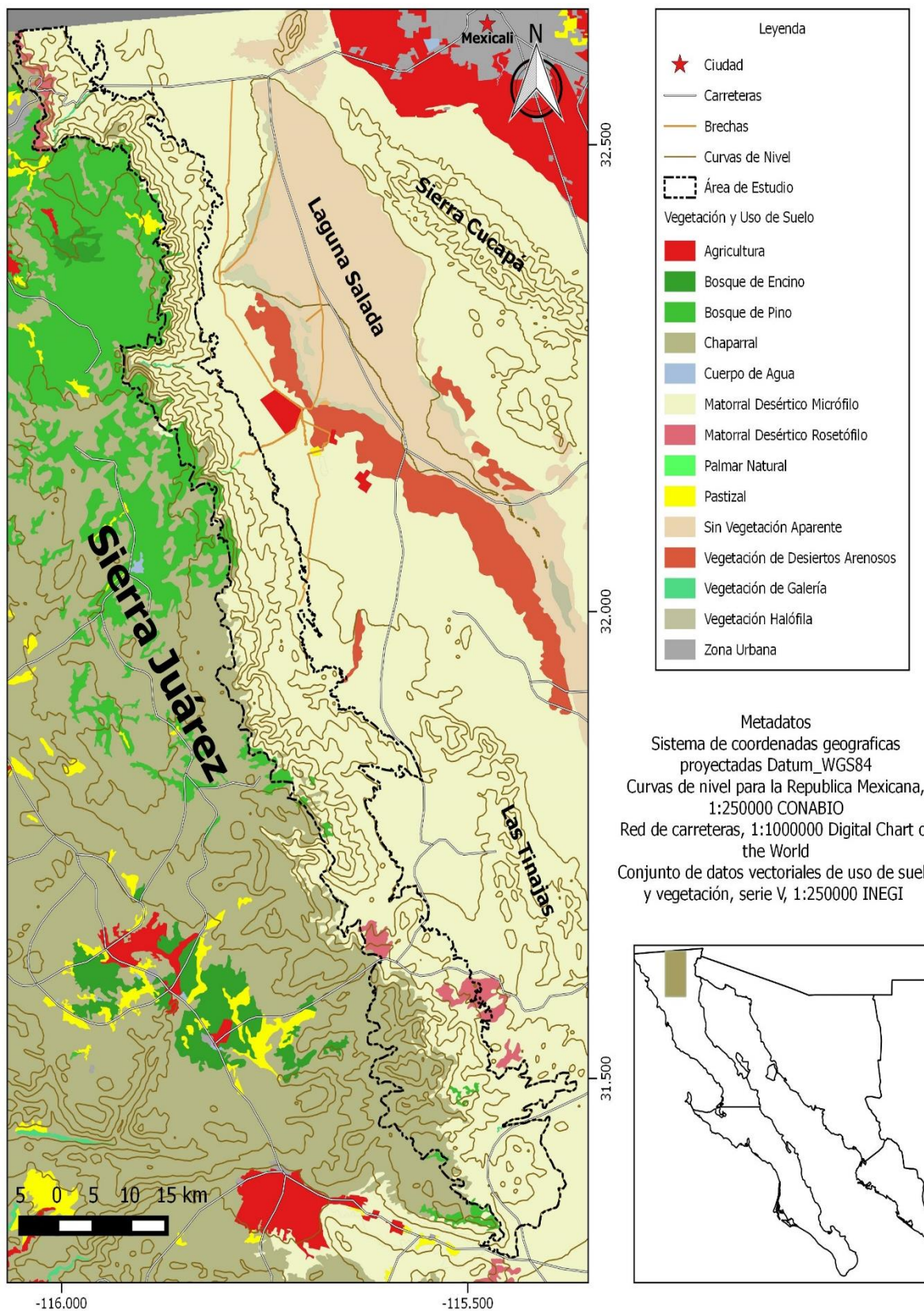


Figura 6. Tipos de vegetación de Sierra Juárez (INEGI, 2013).

De acuerdo con García y CONABIO (1998) en la zona de cañones de Sierra Juárez confluyen cinco tipos de climas: muy árido semicálido [BWh(x')] con lluvias repartidas en todo el año y donde la temperatura media anual es de entre 18 y 22°C; muy árido templado [BWk(x')] con lluvias repartidas todo el año y con una temperatura media anual de entre 12 y 18°C; muy árido templado [BWks] con lluvias en invierno con una temperatura media anual de entre 12 y 18°C; templado [Cs] con lluvias en invierno y temperatura media anual entre 12 y 18°C; y semifrío subhúmedo [Cb's] con lluvias en invierno y temperatura media anual de entre 5 y 12 °C (Figura 7).

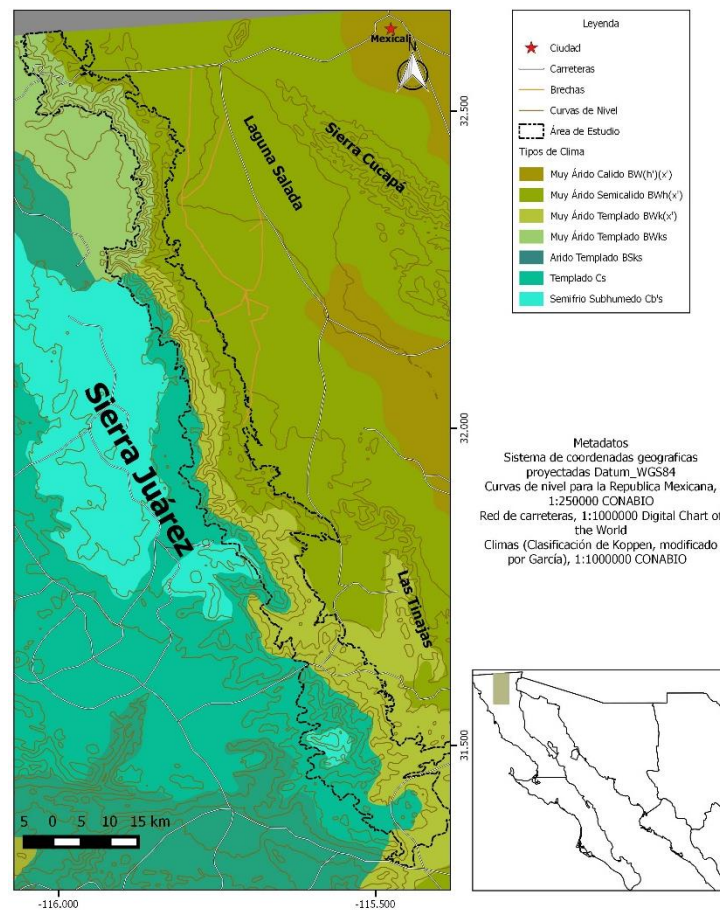


Figura 7. Tipos de clima de Sierra Juárez (García y CONABIO, 1998).

4.2 Generación de la base de datos de evidencias del borrego cimarrón

Se realizaron cuatro salidas al campo con una duración de tres días cada una, de enero a junio de 2016. Se muestrearon doce sitios desde la Rumorosa hasta el Cañón del Palomar (Figura 5). Cada sitio se recorrió en transectos cuya longitud varió dependiendo de la accesibilidad del área, de 24 km el más largo y de 2 km el más corto. En estos se registró y georreferenció la presencia del borrego cimarrón por medio de evidencias indirectas (excretas y huellas).

Esta base de datos se complementó con los registros del censo aéreo de 2012 (García, 2014).

4.3 Caracterización del área de estudio

Se utilizó el sistema de información geográfica QGIS 2.8.6 (QGIS development team, 2016) para el manejo y procesamiento de la información geoespacial. Se incorporó la información del modelo digital del terreno correspondiente al área de estudio, a una resolución de pixel de 30x30 m (INEGI, 2013), del cual se obtuvieron los valores de orientación, pendiente y el índice de escabrosidad, mediante el modulo, *Ráster, Análisis de Terreno*.

Los valores de orientación se obtuvieron en grados e indican los puntos cardinales hacia los cuales se encuentran orientadas las laderas (Tabla 1). La pendiente indica lo escarpado del terreno medido en porcentaje. El índice de escabrosidad clasifica en diferentes categorías los cambios en la elevación del terreno dentro de una

matriz de 3x3 pixeles y sintetiza el cambio puntual de la elevación en cada pixel y en los 8 pixeles que lo rodean (Tabla 2).

Tabla 1. Equivalencias entre los puntos cardinales y los grados de orientación de las laderas (Mesa, 2013)

Punto Cardinal	Intervalo en Grados	Punto Cardinal	Intervalo en Grados
Norte	0	Sur	180
Noreste	1-89	Suroeste	181-269
Este	90	Oeste	270
Sureste	91-179	Noroeste	271-359

Se rasterizó, a una resolución de pixel de 30x30 m, la información vectorial de la capa de uso de suelo y vegetación del área de estudio (INEGI, 2013), con el modulo, *Ráster, Conversión, Rasterizar*. Esto para hacerlas compatibles con el programa de modelación de nicho.

Tabla 2. Categorías de escabrosidad del terreno según Riley *et al.* (1999).

Categoría	Índice de Escabrosidad
Nivel	0-80 m
Casi a nivel	81-116 m
Ligeramente escabroso	117-161 m
Escabrosidad moderada	162-239 m
Escabrosidad intermedia	240-497 m
Altamente escabroso	498-958 m
Extremadamente escabroso	959-4397 m

Se calculó la cobertura vegetal del área de estudio, utilizando el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI por sus siglas en inglés) propuesto por Rouse *et al.* (1974), el cual consiste en la diferencia normalizada entre la reflectancia

espectral de la vegetación en el rango de luz roja ($\lambda = 550\text{-}700\text{ nm}$) e infrarrojo cercano ($\lambda = 700\text{-}1300\text{ nm}$):

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IR} - \text{R}}{\text{IR} + \text{R}}$$

Siendo:

R: Luz roja.

IR: Infrarrojo cercano.

Este índice de teledetección se calculó con la imagen de satélite Landsat 8 OLI/TIRS, de abril del año 2016, con una resolución de pixel de 30x30 m, bandas cuatro y cinco (USGS, 2016). Las cuales se procesaron en el módulo, *Ráster, Calculadora Ráster*.

Tabla 3. Categorías de vegetación de acuerdo con los valores del NDVI (USGS, 2015)

Categoría	NDVI
Áreas rocosas con escasa vegetación	0 - 0.1
Matorrales y pastizales	0.2 - 0.5
Bosques y cultivos	0.6 – 0.9

Los tipos de clima del área de estudio, se construyeron empleando las superficies climáticas de alta resolución para México desarrolladas por Cuervo *et al.* (2014) (Tabla 4), las cuales son consideradas como la información climatológica más precisa que se tienen para México, pues en su elaboración se utilizaron los registros de más de 5000 estaciones climatológicas de 1910 hasta el 2009 a nivel nacional (Cuervo *et al.*, 2014). Estas fueron proporcionadas a una resolución de pixel de

30x30 m por el Dr. Oswaldo Téllez Valdés de acuerdo con la metodología descrita por Cuervo *et al.* (2014).

Los valores de los parámetros bioclimáticos que conforman las superficies climáticas se ingresaron en el programa PATN.EXE 3.1.2.0 (PATN development team, 2013) donde se realizó un análisis de conglomerados con variables mixtas empleando el coeficiente de similitud de Gower, el cual determina las semejanzas entre los puntos geográficos.

Este análisis de conglomerados se realizó con las capas ambientales y topográficas del área de estudio (orientación, pendiente, escabrosidad, clima, tipo de vegetación y cobertura vegetal) para determinar la heterogeneidad ambiental que se encuentra en el sitio y así poder generar una serie de dominios ambientales.

Tabla 4. Parámetros Bioclimáticos (Cuervo *et al.*, 2014)

Código	Nombre
Bio01	Temperatura media anual
Bio02	Rango de temperatura diurna media
Bio03	Isotermalidad
Bio04	Estacionalidad de temperatura
Bio05	Temperatura máxima del mes más caliente
Bio06	Temperatura mínima del mes más frío
Bio07	Rango de temperatura anual
Bio08	Temperatura media del trimestre más húmedo
Bio09	Temperatura media del trimestre más seco
Bio10	Temperatura media del trimestre más caliente
Bio11	Temperatura media del trimestre más frío
Bio12	Precipitación total anual
Bio13	Precipitación del mes más húmedo
Bio14	Precipitación del mes más seco
Bio15	Estacionalidad de la precipitación
Bio16	Precipitación del trimestre más húmedo
Bio17	Precipitación del trimestre más seco
Bio18	Precipitación del trimestre más caliente
Bio19	Precipitación del trimestre más frío

4.4 Modelación del nicho ecológico

La modelación del nicho ecológico se realizó con el programa Maxent en el cual se usaron los datos de la ubicación de las evidencias de la presencia del borrego cimarrón y las capas de información generadas con el SIG: orientación, pendiente, índice de escabrosidad, clima, uso de suelo y vegetación, y NDVI. Al ser estos los principales elementos estructurales físicos y biológicos que restringen la distribución del borrego cimarrón (Montoya, 1998; López *et al.*, 1999; Lara *et al.*, 2001; Guerrero *et al.*, 2003; Mesa, 2013).

El algoritmo se implementó con base en los criterios propuestos por Phillips *et al.* (2006) para realizar una modelación de nicho básica. Se construyó un modelo conjugado de valores promedio, realizando 20 réplicas con 1000 iteraciones cada una, en donde el 80% de las localidades de ocurrencia se emplearon para la construcción del modelo y el 20% para la prueba, activando la opción *Random seed*, para que en cada replica se utilizaran diferentes localidades de ocurrencia en la construcción de los modelos. Se empleó un factor de regularización β de 1 y las opciones *Extrapolate* y *Do clamping* se desactivaron para evitar el sobreajuste de los datos. Se activaron las opciones *Do jackknife to measure variable importance* y *Create response curves*. La salida seleccionada fue de tipo *Logistic*, en la cual se clasifica el valor de los pixeles de cero a uno, e interpreta la escala como la probabilidad de presencia de la especie.

4.5 Evaluación de la calidad del hábitat

En los sitios de muestreo, se evaluó la calidad del hábitat para la especie utilizando la metodología propuesta por Martínez (2011), la cual se modificó, para que esta coincidiera con los criterios de idoneidad de hábitat para el borrego del desierto, descritos por Hansen y Deming (1980), Montoya (1998), López *et al.* (1999), Lara *et al.* (2001), Guerrero *et al.* (2003) y Mesa (2013) (Tablas 5-12).

Los elementos a evaluar, los rangos de puntaje y las categorías de calidad del hábitat se respetaron íntegros de la propuesta de Martínez (2011).

Con esta metodología se evaluó el hábitat cualitativamente a una escala fisiográfica, considerando como hábitat vital para el borrego cimarrón (con una puntuación mayor a 90 puntos), aquel que presenta: terrenos pedregosos, escarpados, con sierras altas (>600 msnm) y con cañones pequeños dentro de cañones grandes; vegetación arbustiva compuesta por especies de matorral; presencia de cuerpos de agua permanentes; terreno rocoso sin obstrucciones; evidencias de borrego cimarrón y fauna nativa; evidencias nuevas y viejas muy abundantes de la especie; y baja densidad poblacional circundante, en donde el uso humano de la zona de cañones es únicamente de recreación.

Tabla 5. Valoración de la topografía

Puntaje	Características
0	Terrenos planos con cerros bajos (< 300 m.)
4	Terrenos pedregosos no escarpados.
8	Terrenos pedregosos y escarpados con una mayor presencia de cerros y cañones.
16	Terrenos pedregosos, escarpados y con sierras medianas (600 msnm).
20	Terrenos pedregosos, escarpados, con sierras altas (>600 msnm) y con cañones pequeños dentro de cañones grandes.

Tabla 6. Valoración de la vegetación

Puntaje	Características
0	Vegetación seca con suelos expuestos.
4	Vegetación compuesta por coníferas.
8	Zona de transición entre matorral, chaparral y bosque con un alto porcentaje de pastos.
12	Vegetación arbustiva compuesta por especies de matorral.
16	Comunidad de matorral con presencia de pastos.

Tabla 7. Valoración de la disponibilidad del agua

Puntaje	Características
0	Lugares secos sin cuerpos de agua temporales.
8	Frecuentemente secos, arroyos y agujeros temporales, con pocos días de agua (< 20 días) en invierno.
12	Presencia de arroyos y agujeros temporales con agua en invierno y primavera.
16	Presencia de cuerpos de agua permanentes.

Tabla 8. Valoración de la fragmentación del hábitat

Puntaje	Características
0	Terreno plano con obstrucciones antrópicas (carreteras, caminos, cercos, etc.).
6	Terreno rocoso con obstrucciones antrópicas (carreteras, caminos, cercos, etc.).
12	Terreno rocoso sin obstrucciones.

Tabla 9. Valoración de la competencia

Puntaje	Características
0	Presencia solo de ganado.
3	Presencia de ganado y borrego cimarrón.
5	Presencia de ganado, borrego cimarrón y fauna nativa (venado, puma y/o águila real).
10	Evidencias de borrego cimarrón y fauna nativa (venado, puma y/o águila real).

Tabla 10. Valoración de la frecuencia de uso por el borrego cimarrón

Puntaje	Características
0	Sin uso
2	Poco usado (sin evidencias de echaderos, únicamente grupos de excretas y huellas en su mayoría viejas y separadas entre sí por más de 500 m.).
4	Medianamente usado (evidencias de algunos echaderos separados entre sí por más de 500 m., con grupos de excretas y huellas, viejas y recientes).
6	Muy utilizado (evidencias de echaderos separados entre sí por menos de 500m., con grupos de excretas y huellas, recientes y viejas muy abundantes).

Tabla 11. Valoración del impacto humano

Puntaje	Características
0	Alta densidad poblacional circundante (ciudad), con actividades económicas de alto impacto en el área de cañones (minería, aprovechamiento forestal maderable y no maderable, parques eólicos, agricultura y/o tiraderos a cielo abierto).
2	Alta densidad poblacional circundante (ciudad), en donde no se realizan actividades económicas de alto impacto en el área de cañones (minería, aprovechamiento forestal maderable y no maderable, parques eólicos, agricultura y/o tiraderos a cielo abierto).
4	Densidad poblacional media circundante (villa), con actividades económicas de alto impacto en el área de cañones (minería, aprovechamiento forestal maderable y no maderable, parques eólicos, agricultura y/o tiraderos a cielo abierto).
8	Densidad poblacional media circundante (villa), en donde no se realizan actividades económicas de alto impacto en el área de cañones (minería, aprovechamiento forestal maderable y no maderable, parques eólicos, agricultura y/o tiraderos a cielo abierto).
10	Densidad poblacional baja circundante (rancherías), con actividades económicas de alto impacto en el área de cañones (minería, aprovechamiento forestal maderable y no maderable, parques eólicos, agricultura y/o tiraderos a cielo abierto).
12	Baja densidad poblacional circundante (rancherías), donde el pie de monte de la zona de cañones tiene uso de agostadero.
15	Baja densidad poblacional circundante (rancherías), en donde el uso humano de la zona de cañones es únicamente de recreación.
20	Baja densidad poblacional circundante (rancherías), donde realizan acciones para la conservación del borrego cimarrón (vigilancia, construcción/limpieza de aguajes, eliminación de fauna feral).

Tabla 12. Evaluación de la calidad del hábitat

Estatus	Descripción	Puntaje
Hábitat en malas condiciones	Lugares donde no existen las condiciones para el establecimiento de rebaños de borrego cimarrón, y/o frecuentemente impactados por actividades humanas.	0 a 61
Zona de amortiguamiento	Sitios de paso para el borrego cimarrón por su escasa oferta ambiental, y/o cuyo uso es frecuentemente para actividades humanas. Estos son espacios con posibilidad de ser recuperados.	62 a 75
Importante para el borrego cimarrón	Hábitat en buenas condiciones, con elementos estructurales (físicos y biológicos) que permiten el establecimiento de rebaños de borrego cimarrón estacionalmente.	76 a 90
Vital para el borrego cimarrón	Zonas en buen estado de conservación, en donde las condiciones ambientales permiten el establecimiento permanente de rebaños de borrego cimarrón.	>90

4.6 Propuesta de Manejo

Con la finalidad de identificar los recursos con los que se cuenta para efectuar el manejo del hábitat del borrego cimarrón en Sierra Juárez y la problemática que existe referente a este tema en la zona, se realizaron entrevistas informales a los dueños y trabajadores de los ranchos Casa de Piedra, El Alamar (Vizcarra), El Alamar (Duques) y Campo Palmar de Guadalupe, cuyos propietarios tienen predios dentro del área de distribución de los organismos. Además se asistió a una asamblea del Ejido Cordillera Molina en la que se abordaron temas referentes al manejo de la especie.

La información recabada por estos medios se empleó para elaborar una matriz FODA, a partir de la cual se plantearon las líneas estratégicas a seguir para resolver las debilidades y mitigar las amenazas, haciendo uso de las fortalezas y buscando aprovechar las oportunidades (Winchester, 2011).

Así mismo se identificaron tanto a los actores como a las instituciones que tienen la capacidad de impulsar y apoyar las acciones a realizar para cumplir con las metas de las líneas estratégicas.

El diseño final de la propuesta de manejo para el hábitat del borrego cimarrón en Sierra Juárez empleó como línea base los elementos técnicos que la presente investigación aportó.

V. Resultados

En el área de estudio con un esfuerzo de muestreo efectivo de 75 horas en las que se recorrieron 97 km, se encontraron un total de 601 evidencias de borrego cimarrón, de las cuales 565 fueron grupos de excretas y 36 huellas (Figura 8). Lo cual da una razón de 8.1 evidencias encontradas por hora de muestreo ó 6.2 evidencias encontradas por kilómetro.



Figura 8. Huella (izquierda) y grupo de excretas (derecha) de borrego cimarrón en Sierra Juárez.

La caracterización del área de estudio mostró que las orientaciones predominantes son hacia el este; presenta pendientes de entre 0 y 72%, son más frecuentes las menores de 20%; los valores de escabrosidad se concentran entre valores de 0-50 m y tienen un valor máximo de 228 m; y el índice de NDVI oscila entre los -0.02 y 0.44 donde los valores iguales a 0.09 tienen la mayor frecuencia (Figura 9).

La actualización de la información climática de la zona de cañones de Sierra Juárez corroboró que en ésta confluyen cinco tipos de climas: muy árido semicálido [BWh(x')], muy árido templado [BWk(x')], muy árido templado [BWks], templado [Cs] y semifrío subhúmedo [Cb's] (Figura 10).

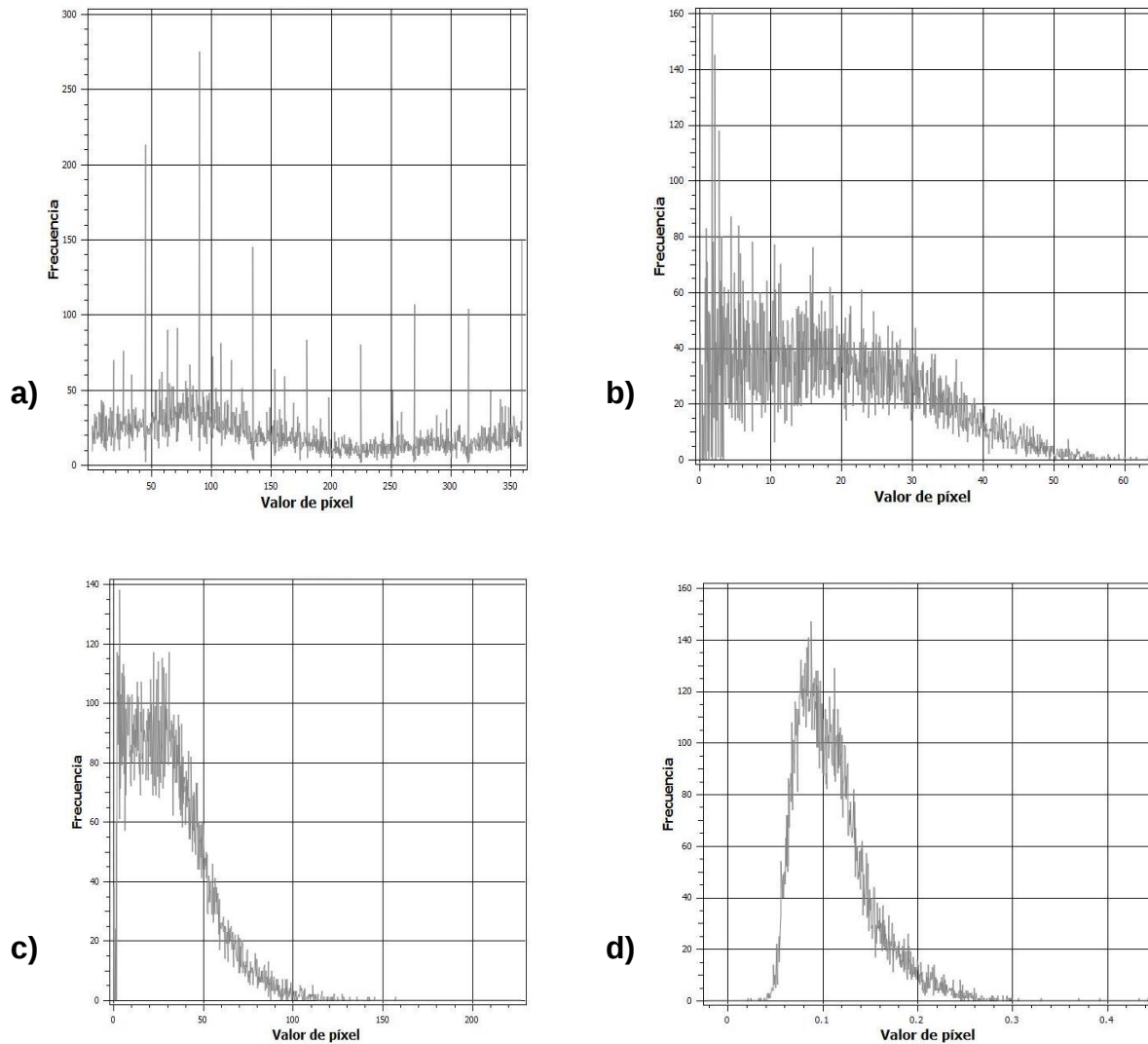


Figura 9. Histogramas de frecuencias de las variables biogeográficas de la zona borreguera de Sierra Juárez.
a) Orientación; b) Pendiente; c) Escabrosidad; d) NDVI.

El análisis de conglomerados de las variables topográficas y ambientales, determinó que en el área de estudio se tienen seis dominios ambientales los cuales se nombraron de acuerdo a sus características topográficas, climáticas y de vegetación como: matorral abierto cálido, matorral abierto templado, matorral denso templado, chaparral escarpado, chaparral templado y bosque semifrío. Donde del total de los registros de la especie generados por medio del censo aéreo de 2012 y el rastreo de los organismos de 2016 se encontraron: el 62% en el matorral abierto cálido; el

21% en el matorral denso templado; 11% en el matorral abierto templado; 6% en el chaparral escarpado; y se tiene un registro de la especie tanto en el chaparral templado como en el bosque semifrío (Figura 11).

El umbral de similitud empleado en el análisis de conglomerados de las variables (40%), muestra que los dominios ambientales se agrupan en cuatro bloques entre los que existen diferencias significativas, uno conformado por aquellos en donde el tipo de vegetación predominante es el matorral y los otros tres que corresponden al chaparral escarpado, chaparral templado y bosque frío (Figura 12).

Los resultados de la modelación de nicho ecológico, mostraron que en la región norte de Sierra Juárez se tiene la mayor superficie territorial que presenta las condiciones medioambientales típicas en que el borrego cimarrón se distribuye. Superficie que es menor en la región central de la serranía y que en la zona sur se encuentra esparcida en manchones, los cuales son más abundantes en las colindancias con la sierra de Las Tinajas (Figura 13).

Así mismo se indica claramente que los cañones del Ranchito, Los Llanos, El Tajo y Guadalupe, son aquellos con la mayor idoneidad geográfica para la especie (Figura 13).

La tasa de omisión y área predicha (Figura 14a) mostró que la omisión en los puntos de prueba no se ajusta a la tasa de omisión predicha completamente. Mientras que en el gráfico del área debajo de la curva (AUC) del receptor de funcionamiento característico (ROC) (Figura 14b), el modelo obtuvo un valor de 0.877 y una desviación estándar de 0.011.

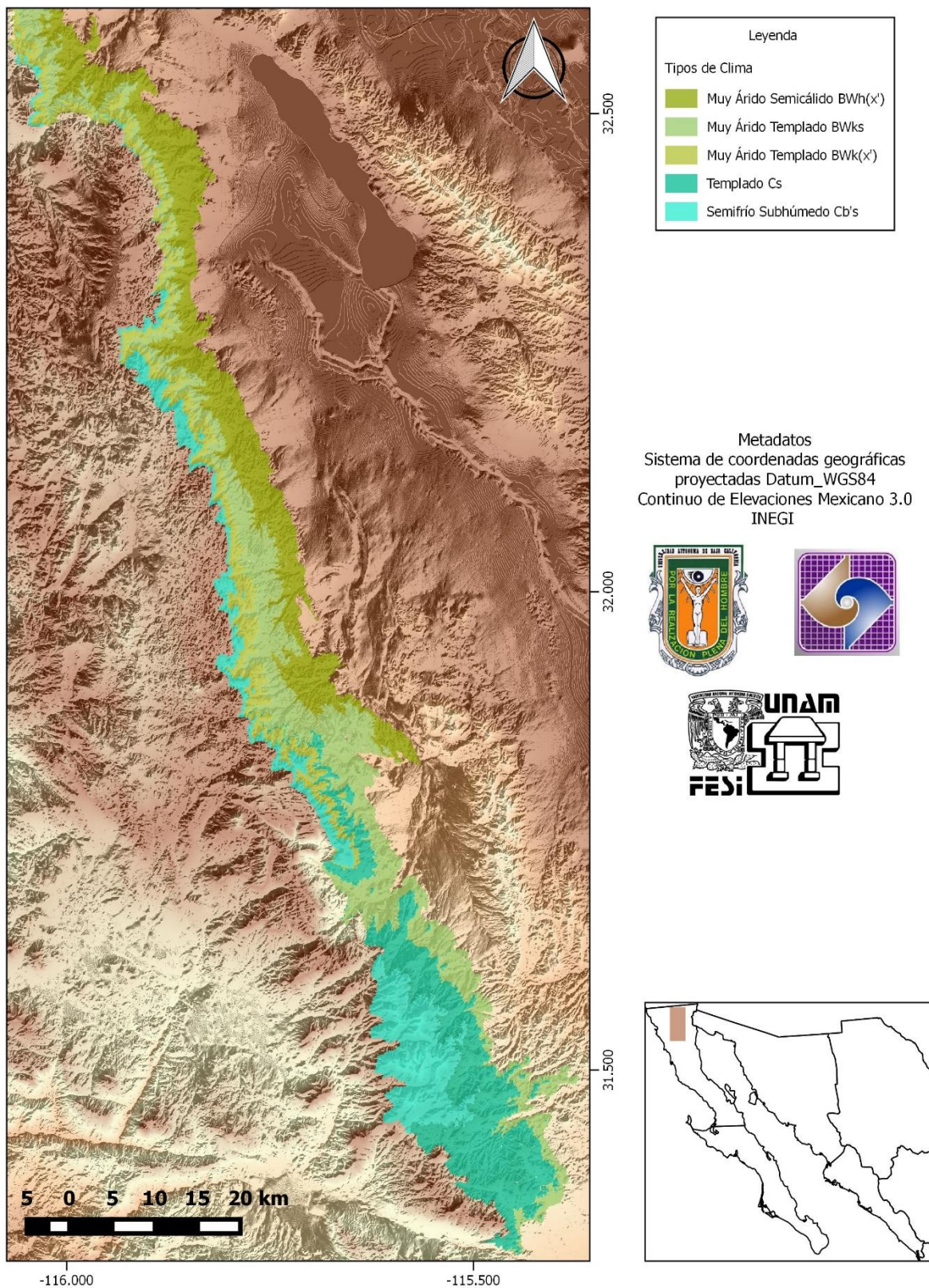


Figura 10. Tipos de clima actualizados de la zona de cañones de Sierra Juárez.

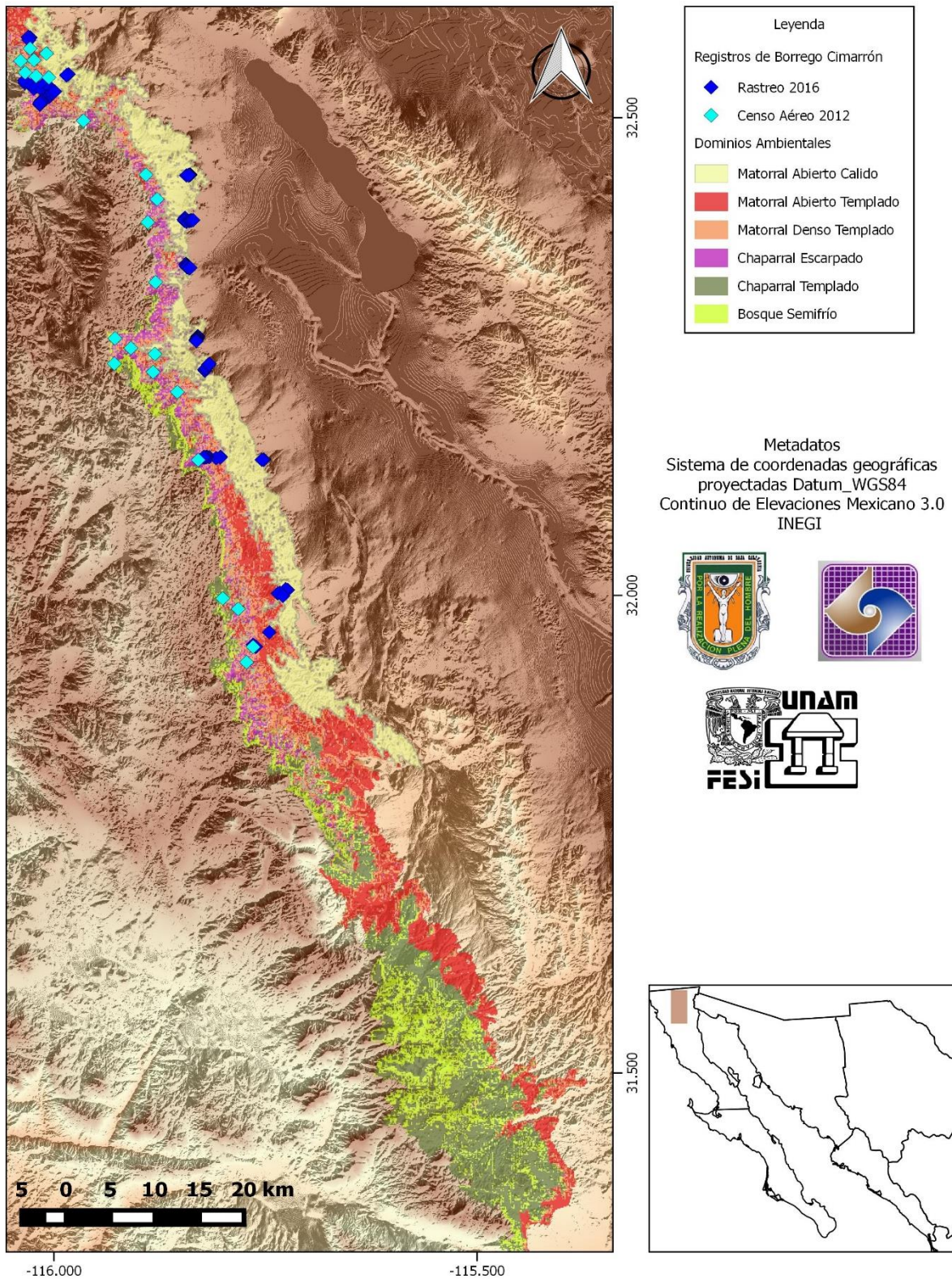


Figura 11. Dominios ambientales de la zona de cañones de Sierra Juárez, en donde se muestran los registros de borrego cimarrón obtenidos durante el censo aéreo de 2012 y el rastreo de los organismos de 2016.

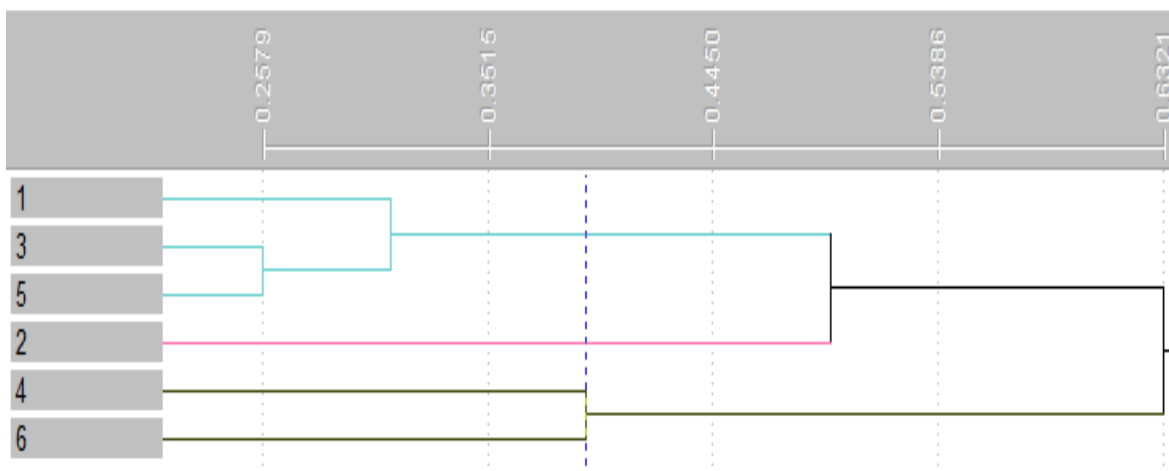


Figura 12. Dendrograma de la similitud entre los dominios ambientales de la zona de cañones de Sierra Juárez: 1 – Matorral abierto cálido; 2 – Chaparral escarpado; 3 – Matorral abierto templado; 4 – Bosque frío; 5 – Matorral denso templado; 6 – Bosque templado.

Las variables: NDVI, tipo de vegetación y escabrosidad aportaron el 73% de la información necesaria para la creación del modelo (Tabla 13).

Tabla 13. Contribución de las variables topográficas y ambientales en la construcción del modelo

Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia de Permutación
NDVI	26.7	20.5
Tipo de vegetación	24.1	13.8
Escabrosidad	22.2	31.8
Clima	11.8	13.1
Orientación	10.3	9.4
Pendiente	4.9	11.5

El NDVI fue la variable más útil para predecir la distribución de la especie. Mientras que el ajuste del modelo a las muestras de presencia, disminuyó cuando se omitió el tipo de vegetación en el entrenamiento y la prueba del mismo (Figura 15).

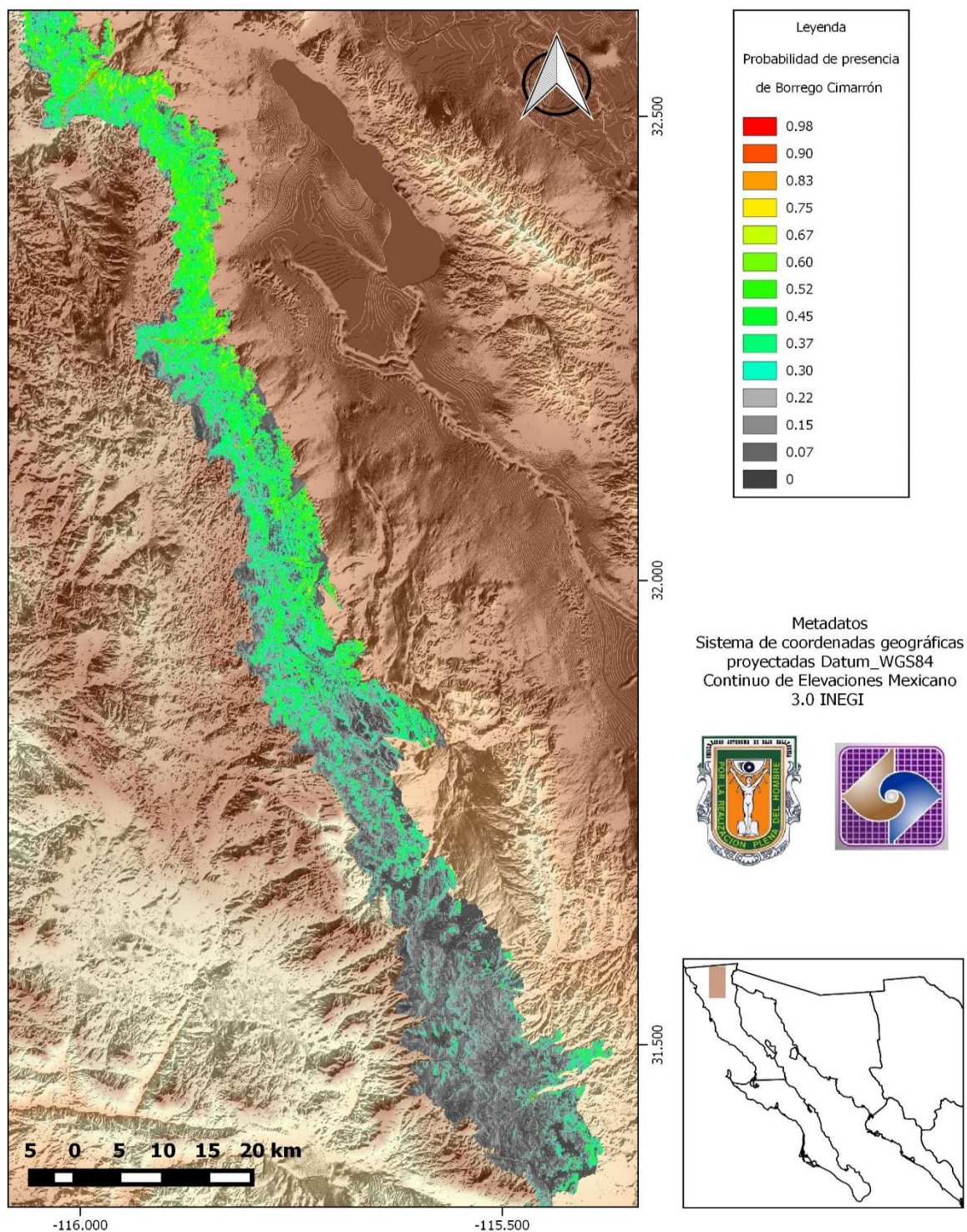


Figura 13. Modelo de nicho ecológico del borrego cimarrón en Sierra Juárez. La gama roja indica sitios una alta probabilidad de presencia de condiciones adecuadas para la especie; la verde, áreas con las características típicas en que los organismos se distribuyen; y la gris, una baja probabilidad de encuentro de condiciones adecuadas para los animales.

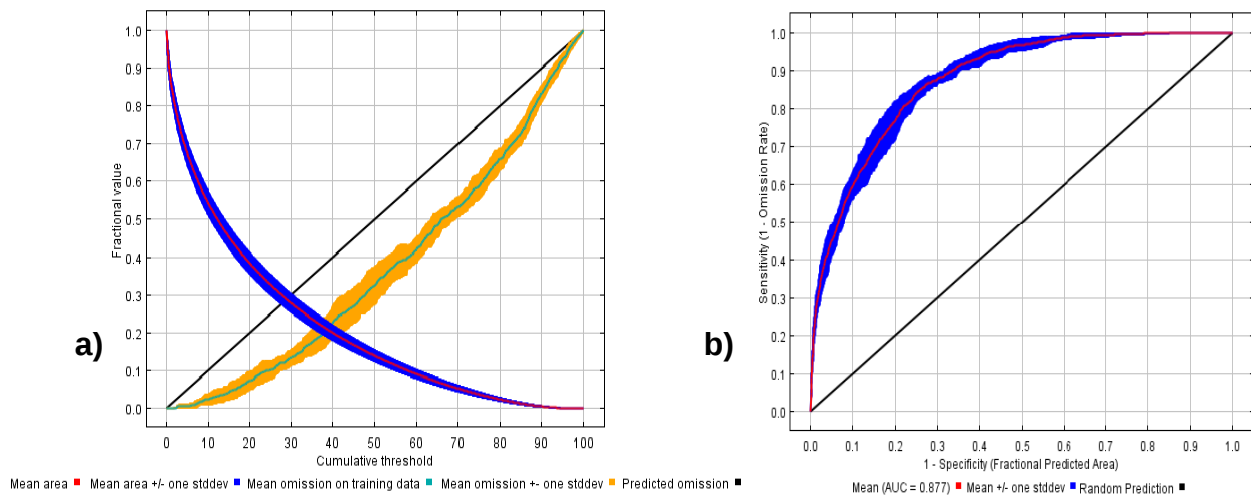


Figura 14. Gráficos de omisión y área predicha promedio (a), y sensibilidad promedio del receptor de funcionamiento característico (b) obtenidos de la modelación realizada para *Ovis canadensis* en Sierra Juárez.

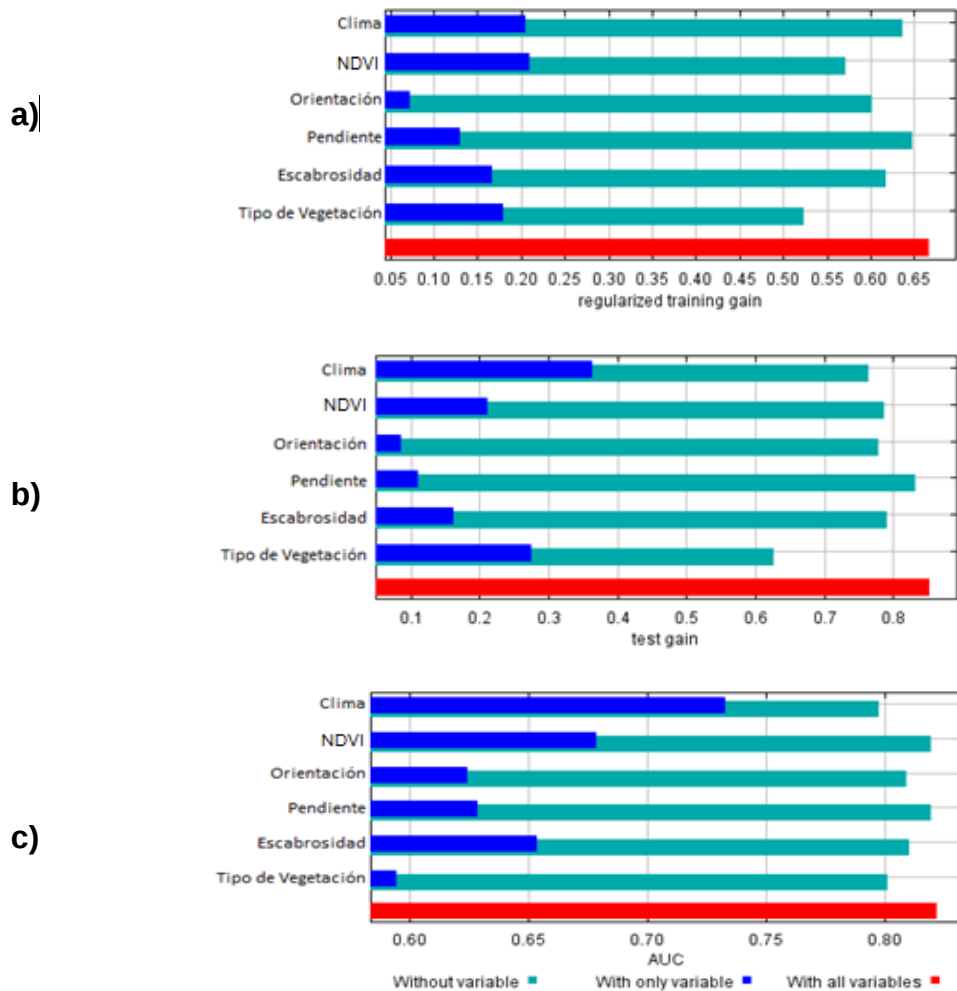


Figura 15. Prueba Jackknife de la significancia de las variables en el entrenamiento (a), prueba (b) y funcionamiento del modelo (c).

La distribución del borrego cimarrón respondió a sitios con: orientaciones de 0-160°; pendientes de 0-65%; escabrosidad de 35-160 m; NDVI de 0.05-0.07; vegetación de tipo galería y palmar natural; y climas muy árido semicálido [BWh(x')], muy árido templado [BWk(x')] y muy árido templado [BWks] (Figura 16).

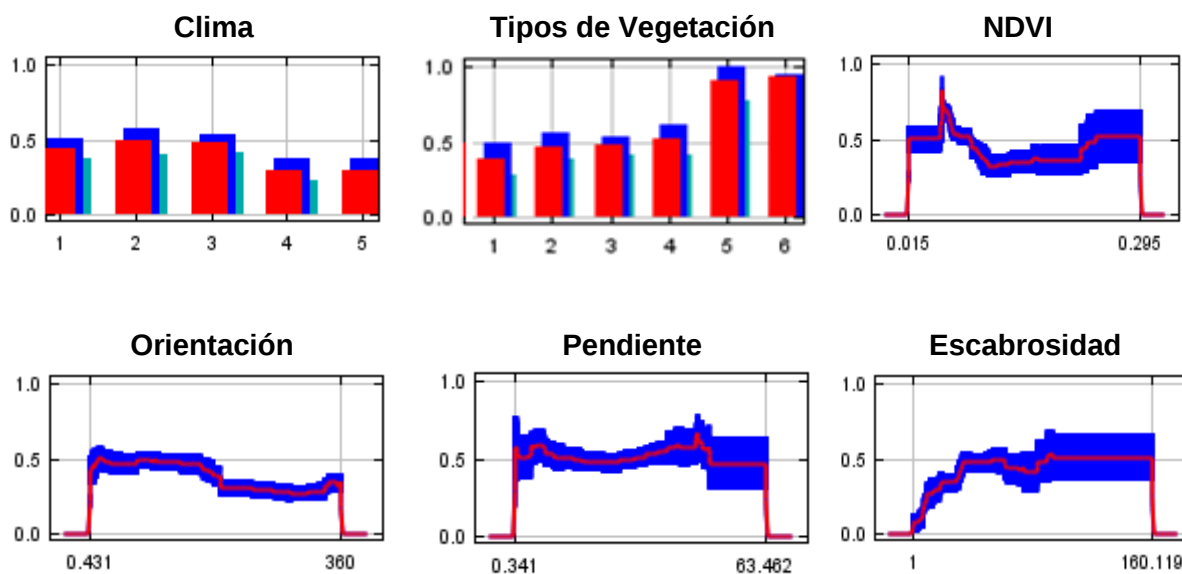


Figura 16. Curvas de respuesta de los datos de presencia de la especie a cada variable ambiental utilizada para la generación del modelo de máxima entropía. Los tipos de clima son: 1 - Muy árido templado [BWks]; 2 - Muy árido templado [BWk(x')]; 3 - Muy árido semicálido [BWh(x')]; 4 - Semifrío subhúmedo [Cb's]; 5 - Templado [Cs]. Los tipos de vegetación son: 1 - Bosque de pino; 2 - Chaparral; 3 - Matorral desértico microfilo; 4 - Matorral desértico rosetófilo; 5 - Palmar natural; 6 - Vegetación de galería.

Los resultados de la evaluación del hábitat mostraron que de los doce sitios recorridos: dos son “Vitales para el borrego cimarrón”, ocho son “Importantes para la especie” y tanto los Cerros del Ejido Manatou como el Cañón de los Llanos correspondieron a la categoría de “Zona de amortiguamiento” (Figuras 17 y 18, tabla 14).

Tabla 14. Resultados de la evaluación de la calidad del hábitat para el borrego cimarrón en Sierra Juárez.

Sitio	Área (ha)	Puntaje	Categoría
Cañón de Guadalupe	322	95	Vital
Cañón del Ranchito	107	91	Vital
Cañón del Tajo	841	86	Importante
Cañón del Palomar	238	85	Importante
La Rosa	534	79	Importante
Cerros de los Laureles del Desierto	181	79	Importante
Cerros Boludos	375	78	Importante
Cerros de la Ponderosa	214	78	Importante
Cañón del Alamar	903	75	Importante
Cañón de los Álamos	298	74	Importante
Cañón de los Llanos	546	70	Zona de amortiguamiento
Cerros del Ejido Manatou	50	65	Zona de amortiguamiento

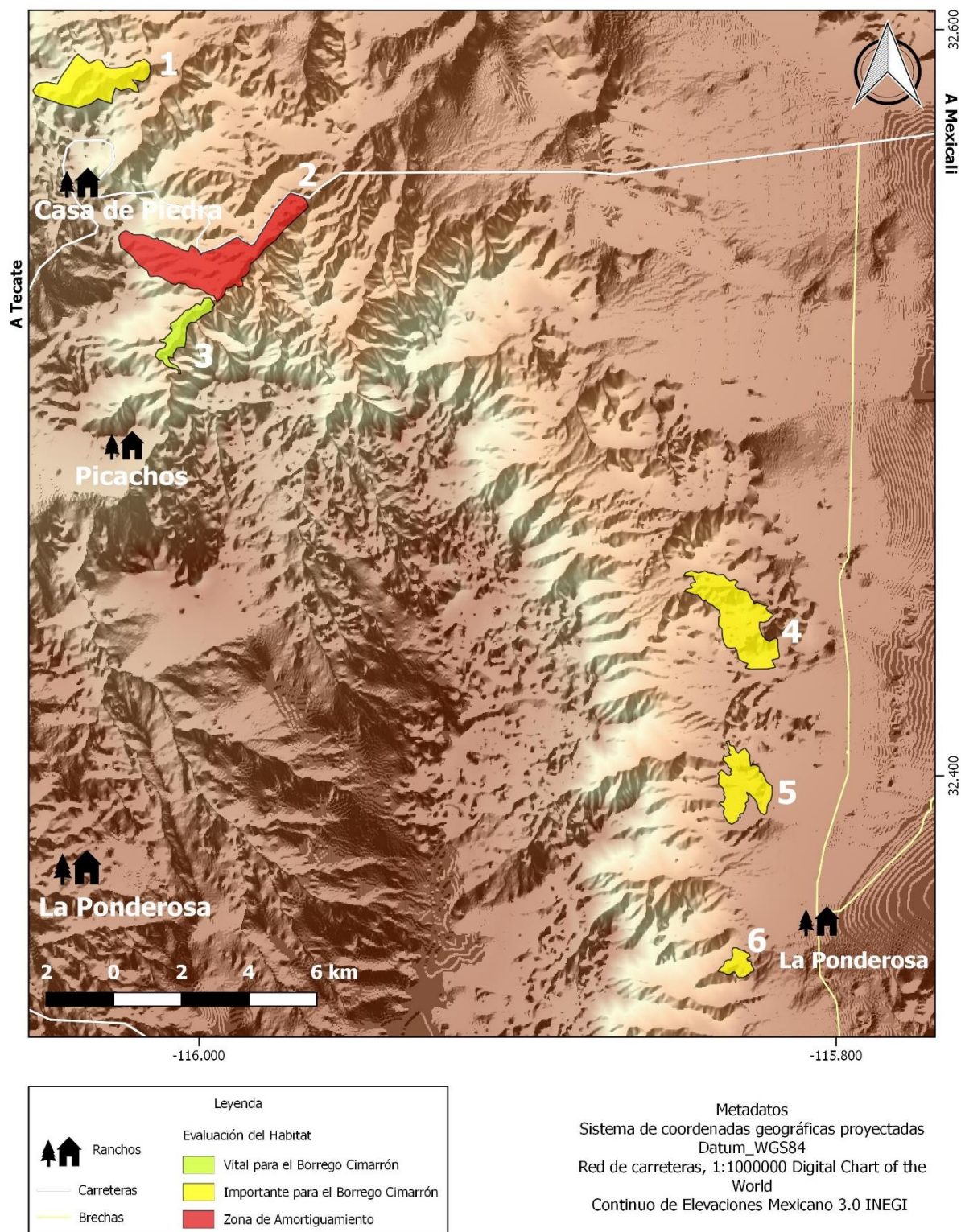


Figura 17. Evaluación del hábitat del borrego cimarrón en la región norte de Sierra Juárez. 1 – Cañón de Los Álamos; 2 – Cañón de Los Llanos; 3 – Cañón del Ranchito; 4 – Cerros Boludos; 5 – Cerros de la Ponderosa; 6 – La Rosa.

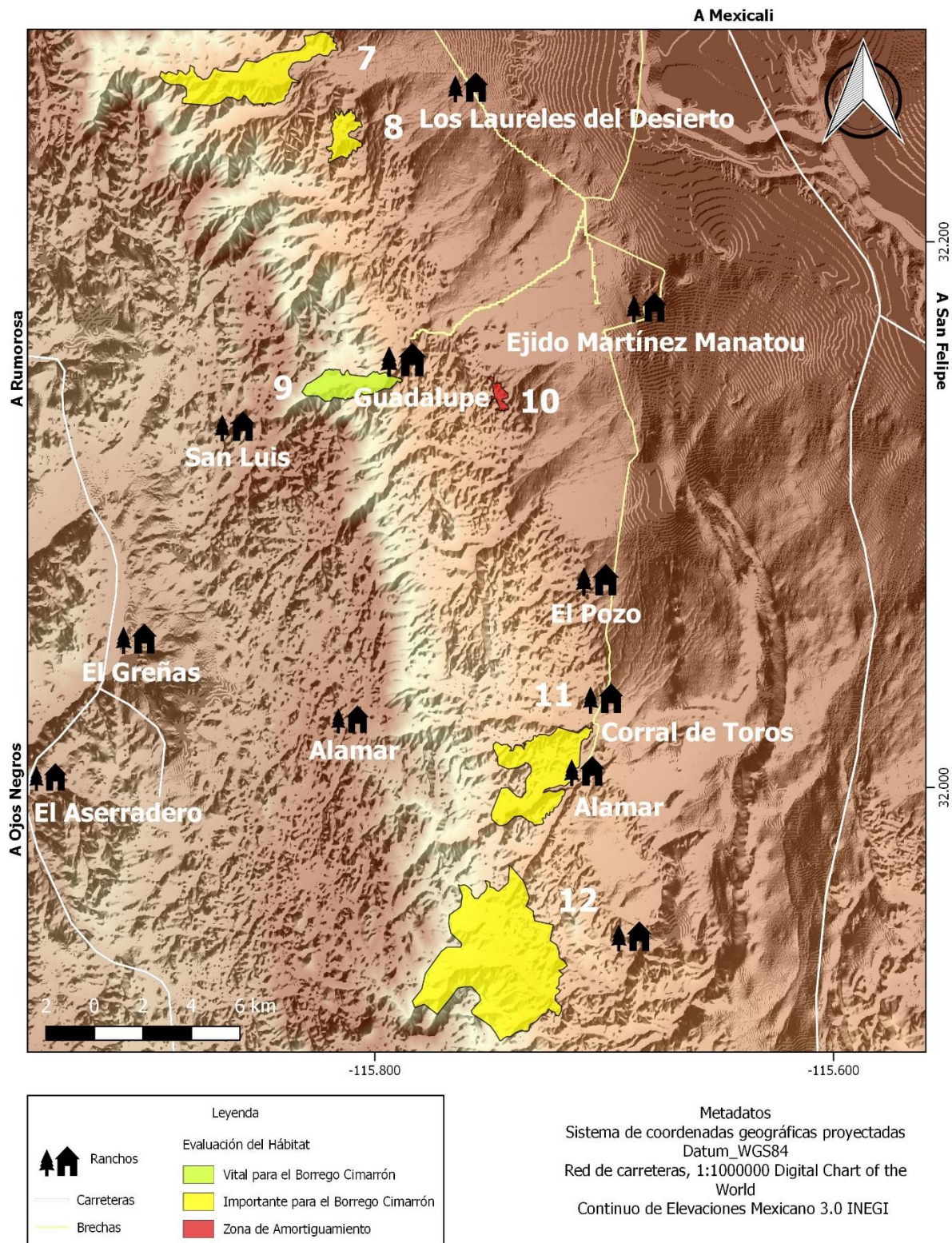


Figura 18. Evaluación del hábitat del borrego cimarrón en la región central de Sierra Juárez. 7 – Cañón del Tajo; 8 – Cerros de los Laureles del desierto; 9 – Cañón de Guadalupe; 10 – Cerros del Ejido Manatou; 11 – Cañón del Alamar; 12 – Cañón del Palomar

VI. Plan de manejo

6.1 Matriz FODA

Tabla 15. Matriz FODA para el manejo del hábitat del borrego cimarrón en Sierra Juárez.

Fortalezas	Debilidades
Conocimiento de la distribución del borrego cimarrón.	Falta de financiamiento de la UMA Ejido Cordillera Molina.
Conocimiento de la calidad del hábitat para el borrego cimarrón.	Ubicación geográfica de la UMA inadecuada para el manejo de la especie.
Recientes monitoreos de la población del borrego cimarrón.	Falta en la UMA de los recursos humanos y materiales, necesarios para vigilar y monitorear al borrego cimarrón.
El área de distribución del borrego cimarrón se encuentra dentro del polígono del Ejido Cordillera Molina.	Falta de un análisis costo beneficio referente al manejo del borrego cimarrón.
Contar con la UMA Ejido Cordillera Molina.	Falta de una actualización periódica acerca del estado actual de conservación de la población del borrego cimarrón.
Ejidatarios de Cordillera Molina experimentados en el trabajo con el borrego cimarrón.	Falta de mantenimiento a los aguajes en el área de distribución del borrego cimarrón.
Sitios con gran potencial turístico en el área de distribución de la especie.	Falta de la ubicación de la totalidad de los aguajes en el área de distribución de la especie.
Buena colaboración entre ejidatarios y algunos académicos de la UABC.	Falta de una zonificación para el manejo de la especie, consensuada entre los ejidatarios de Cordillera Molina y los dueños de predios en la zona borreguera de Sierra Juárez.
Amenazas	Oportunidades
Cacería furtiva.	Apoyos federales y estatales para la operación de UMA's y la conservación de la biodiversidad.
Tiradero de la Rumorosa.	
Carretera Federal # 2.	
Minería.	
Ganadería extensiva desordenada.	Apoyos internacionales para la investigación de la vida silvestre.
Azolve de los cuerpos de agua superficiales en el área de distribución del borrego cimarrón.	
Hartazgo de algunos ejidatarios de Cordillera Molina del tema borrego cimarrón.	Colaboración con ONG's.
División del Ejido Cordillera Molina entorno al tema borrego cimarrón.	
Opinión negativa del aprovechamiento cinegético de la especie por parte de los tomadores de decisiones.	

6.2 Objetivo general

Realizar un manejo integral del hábitat del borrego cimarrón, que asegure el mantenimiento e incremento de la población de la especie y la generación de beneficios a los poseedores del recurso.

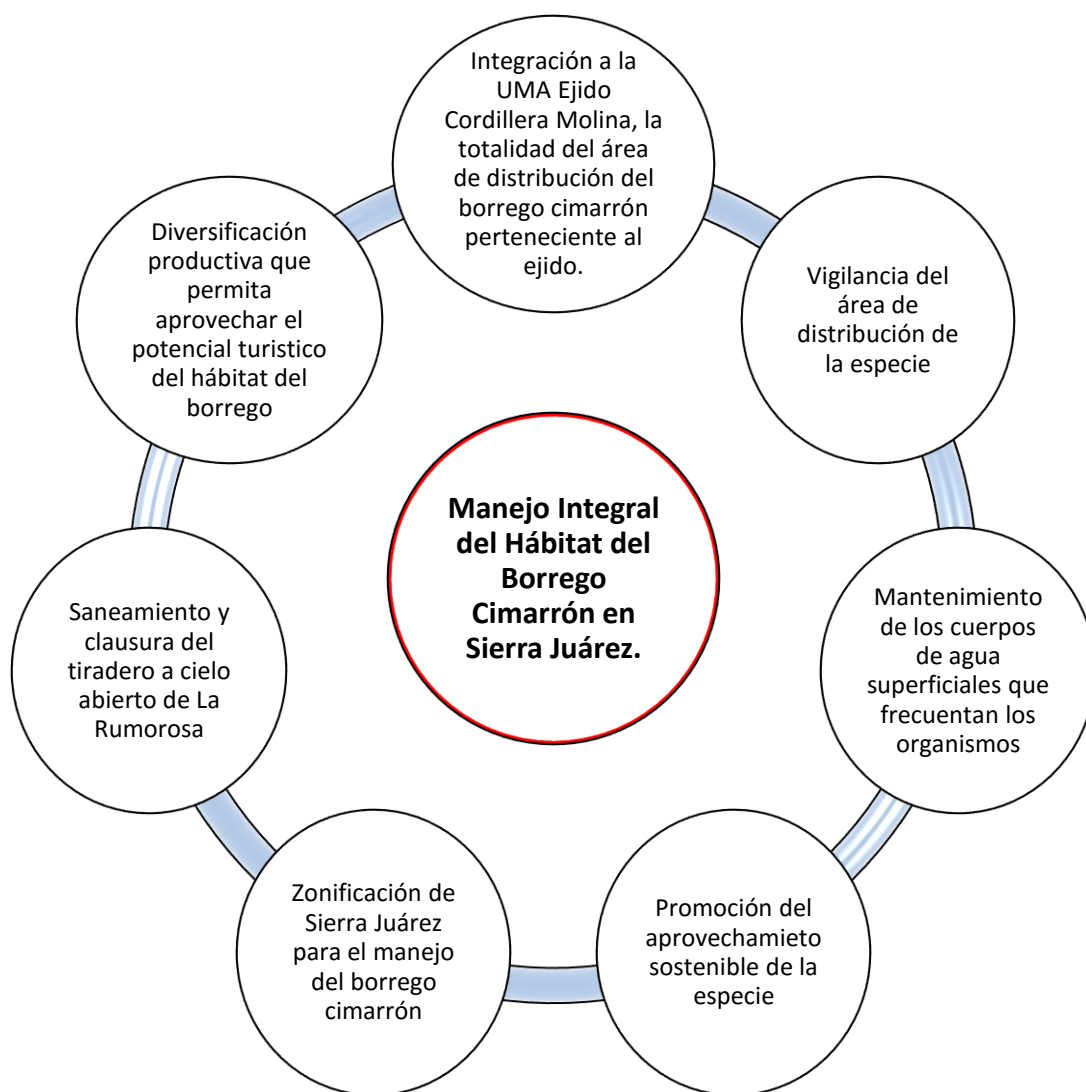


Figura 19. Esquema del plan de manejo para el hábitat del borrego cimarrón en Sierra Juárez.

6.3 Líneas estratégicas

6.3.1 UMA Ejido Cordillera Molina (Corto plazo 1-3 años)

Objetivo estratégico:

Cambiar la superficie de la UMA Ejido Cordillera Molina, de tal manera que su polígono comprenda la totalidad del área de distribución del borrego cimarrón dentro del ejido.

Instituciones responsables y de apoyo:

- Ejido Cordillera Molina

Actores:

- Ejidatarios de Cordillera Molina
- Responsable técnico de la UMA Ejido Cordillera Molina

Acciones:

1. Elaborar un análisis costo-beneficio referente al manejo del borrego cimarrón, que demuestre que el aprovechamiento de la especie puede ser un negocio del que resulten beneficiados todos los ejidatarios. Haciendo énfasis en que la sostenibilidad de este únicamente se puede asegurar si el recurso es aprovechado de manera colectiva.
2. Integrar a la UMA Ejido Cordillera Molina, las parcelas individuales que se encuentran en el área de distribución del borrego cimarrón.

Indicadores de éxito:

- Anuencia de los ejidatarios para integrar sus parcelas individuales a la UMA Ejido Cordillera Molina.

Metas:

- Incluir dentro de la superficie de la UMA Ejido Cordillera Molina, la totalidad del área de distribución del borrego cimarrón perteneciente al ejido.

6.3.2 Vigilancia (Corto plazo 1-3 años)

Objetivo estratégico:

Formar, capacitar y equipar a un grupo de vigilancia que realice recorridos periódicos en las regiones del norte y centro de Sierra Juárez, dándole prioridad a los cañones de Guadalupe, del Ranchito, el Tajo y el Palomar. Para evitar la cacería furtiva, la destrucción del hábitat y monitorear la población del borrego cimarrón.

Instituciones responsables y de apoyo:

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| • SEMARNAT | • Ejido Cordillera Molina |
| • Gobierno del Estado | • UABC |

Actores:

- | | |
|--|---|
| • Responsable técnico de la
UMA Ejido Cordillera Molina | • Mesa directiva del Ejido
Cordillera Molina |
|--|---|

- Responsable del laboratorio de silvestre de la Facultad de manejo y conservación de vida Ciencias (LMCVS).

Acciones:

1. Formar un comité de UMA en el Ejido Cordillera Molina con entre cinco y siete personas experimentadas en el trabajo con borrego cimarrón, y con disposición para participar en la vigilancia de la zona borreguera.
2. Bajar recursos de empleo temporal de la SEDESOE o de SEMARNAT para pagar los sueldos del personal de vigilancia.
3. Bajar recursos de SEMARNAT por medio de la UMA Ejido Cordillera Molina que permitan adquirir el equipo necesario para realizar la vigilancia de la zona y el monitoreo de la especie.
4. Bajar recursos de instituciones internacionales para realizar estudios poblacionales del borrego cimarrón en Sierra Juárez.
5. Realizar una serie de sesiones de capacitación para el adecuado monitoreo de la población de la especie, entre el personal de vigilancia y el equipo de trabajo del Dr. Guillermo Romero Figueroa responsable del LMCVS.

Indicadores de éxito:

- Disminución de los reportes de cacería furtiva.
- Conocimiento del estado de conservación de la población del borrego cimarrón en Sierra Juárez.

Metas:

- Tener un equipo de vigilancia capacitado y equipado en la UMA Ejido Cordillera Molina.

6.3.3 Mantenimiento de cuerpos de agua superficiales (Corto plazo 1-3 años)

Objetivo estratégico:

Ubicar y conservar en buenas condiciones los cuerpos de agua superficiales que se encuentran dispersos al norte y centro de Sierra Juárez.

Instituciones responsables y de apoyo:

- | | |
|------------|---------------------------|
| • SEMARNAT | • Gobierno del Estado |
| • CONAFOR | • Ejido Cordillera Molina |

Actores:

- | | |
|--|---|
| • Responsable técnico de la
UMA Ejido Cordillera Molina | • Mesa directiva del Ejido
Cordillera Molina |
|--|---|

Acciones:

1. Bajar recursos de empleo temporal de la SEDOSE y del fondo patrimonial de biodiversidad de CONAFOR.
2. Desazolver y eliminar las malezas de los cuerpos de agua superficiales que son utilizados por la especie en los cañones de: Los Álamos, El Ranchito, Los Llanos, La Rosa, El Tajo, Guadalupe, El Alamar y El Palomar. Para evitar

que estos disminuyan su capacidad de retención de líquido ocasionando la migración de los hatos de borregos.

3. Realizar una búsqueda para ubicar la totalidad de los aguajes que el borrego utiliza en las regiones del norte y centro de Sierra Juárez.

Indicadores de éxito:

- Permanencia de los rebaños de borregos en la cordillera.

Metas:

- Localizar y mantener en buen estado los aguajes de la región norte y centro de Sierra Juárez.

6.3.4 Aprovechamiento sostenible (Corto plazo 1-3 años)

Objetivo estratégico:

Promover ante los tomadores de decisiones, el aprovechamiento sostenible del borrego cimarrón como fuente de financiamiento para la realización de actividades de vigilancia y de mejoramiento del hábitat.

Instituciones responsables y de apoyo:

- Gobierno del Estado
- Ejido Cordillera Molina
- UABC

Actores:

- Responsable técnico de la UMA Ejido Cordillera Molina
- Mesa directiva del Ejido Cordillera Molina
- Comité Estatal de Protección al Ambiente
- Rector de la UABC
- Responsable del LMCVS

Acciones:

1. Diseñar un plan de manejo para el aprovechamiento sostenible del borrego cimarrón en la UMA Ejido Cordillera Molina, empleado para su elaboración el conocimiento generado de la especie en la zona durante los últimos 10 años, y en cuya creación participen los ejidatarios, el responsable técnico de la UMA y el equipo de trabajo del LMCVS. Para presentarlo ante el comité estatal de protección al ambiente y el rector de la UABC.

Indicadores de éxito:

- Anuencia de los tomadores de decisiones para realizar un aprovechamiento sostenible del borrego cimarrón en la UMA Ejido Cordillera Molina.

Metas:

- Independencia económica de la UMA Ejido Cordillera Molina.

6.3.5 Zonificación (Corto plazo 1-3 años)

Objetivo estratégico:

Zonificar Sierra Juárez para: determinar el área en la cual se realizara el aprovechamiento del borrego cimarrón; establecer una zona que funcione como santuario para los rebaños de borregos, en donde el aprovechamiento sea limitado; y delimitar los corredores naturales que utiliza la especie para desplazarse hacia otras sierras.

Instituciones responsables y de apoyo:

- Ejido Cordillera Molina
- UABC

Actores:

- Mesa directiva del Ejido Cordillera Molina
- Responsable técnico de la UMA Ejido Cordillera Molina
- Dueños de predios en la zona borreguera
- Responsable del LMCVS

Acciones:

1. Realizar una serie de asambleas en las que participen los ejidatarios de Cordillera Molina, los propietarios de los predios que se encuentran dentro de la zona borreguera de Sierra Juárez, el responsable técnico de la UMA y el equipo de trabajo del LMCVS.

Indicadores de éxito:

- Común acuerdo para el manejo del borrego cimarrón entre los poseedores de recurso.

Metas:

- Mapa temático de Sierra Juárez para el manejo del borrego cimarrón.

6.3.6 Tiradero de la Rumorosa (Mediano plazo 5-10 años)

Objetivo estratégico:

Sanear y clausurar el tiradero a cielo abierto de la Rumorosa.

Instituciones responsables y de apoyo:

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| • SEMARNAT | • Municipio de Tecate |
| • Gobierno del Estado | • Ejido Cordillera Molina |
| • SPA | • UABC |

Actores:

- | | |
|--|---|
| • Comité Estatal de Protección al Ambiente | • Responsable técnico de la UMA Ejido Cordillera Molina |
| • Alcalde de Tecate | • Académicos de la UABC |
| | • Sociedad civil |

Acciones:

1. Limitar el acceso al área del tiradero para evitar el vertimiento clandestino de desechos.
2. Realizar una campaña informativa, dirigida a la sociedad civil, de la importancia del cañón de los llanos para la vida silvestre y de las consecuencias que traería el que permanezca el tiradero a cielo abierto en la zona.
3. Realizar una petición formal al gobierno municipal de Tecate y al gobierno del Estado firmada por el Ejido Cordillera Molina, representantes de la sociedad civil y académicos de la UABC especialistas en el tema, para que los desechos vertidos en el tiradero de la Rumorosa sean reubicados y este sea clausurado de acuerdo a las especificaciones de la NOM-083-SEMARNAT-2003.
4. Elaborar el proyecto técnico para realizar el saneamiento y clausura del tiradero a cielo abierto de la Rumorosa.
5. Someter el proyecto de saneamiento y clausura ante la SEMARNAT para obtener el apoyo económico necesario para su realización, a través del Programa para la Prevención y Gestión Integral de Residuos.

Indicadores de éxito:

- Permanencia de los rebaños de borregos en el Cañón de los Llanos.

Metas:

- Reubicación de los desechos sólidos urbanos del Tiradero de la Rumorosa.

6.3.7 Diversificación productiva (Largo plazo 10-20 años)

Objetivo estratégico:

Promover la diversificación del uso de suelo de los sitios con potencial turístico e importantes para el borrego cimarrón, los cuales actualmente se utilizan como minas y tierras de agostadero. Equipando a los ranchos cercanos a la zona borreguera para que estos tengan la capacidad de realizar turismo de naturaleza.

Instituciones responsables y de apoyo:

- SEMRNAT
- Ejido Cordillera Molina
- Financiera Rural
- UABC

Actores:

- Responsable técnico de la UMA Ejido Cordillera Molina
- Dueños de predios en la zona borreguera
- Mesa directiva del Ejido Cordillera Molina
- Académicos y alumnos de la UABC

Acciones:

1. Diseñar proyectos ecoturísticos para los ranchos y sitios de importancia para el borrego cimarrón.
2. Buscar financiamientos y apoyos, ya sean gubernamentales o privados, para la realización de estos proyectos.

Indicadores de éxito:

- Incremento de la afluencia turística a la zona.
- Mejoramiento del hábitat.

Metas:

- Establecer un corredor ecoturístico en Sierra Juárez.

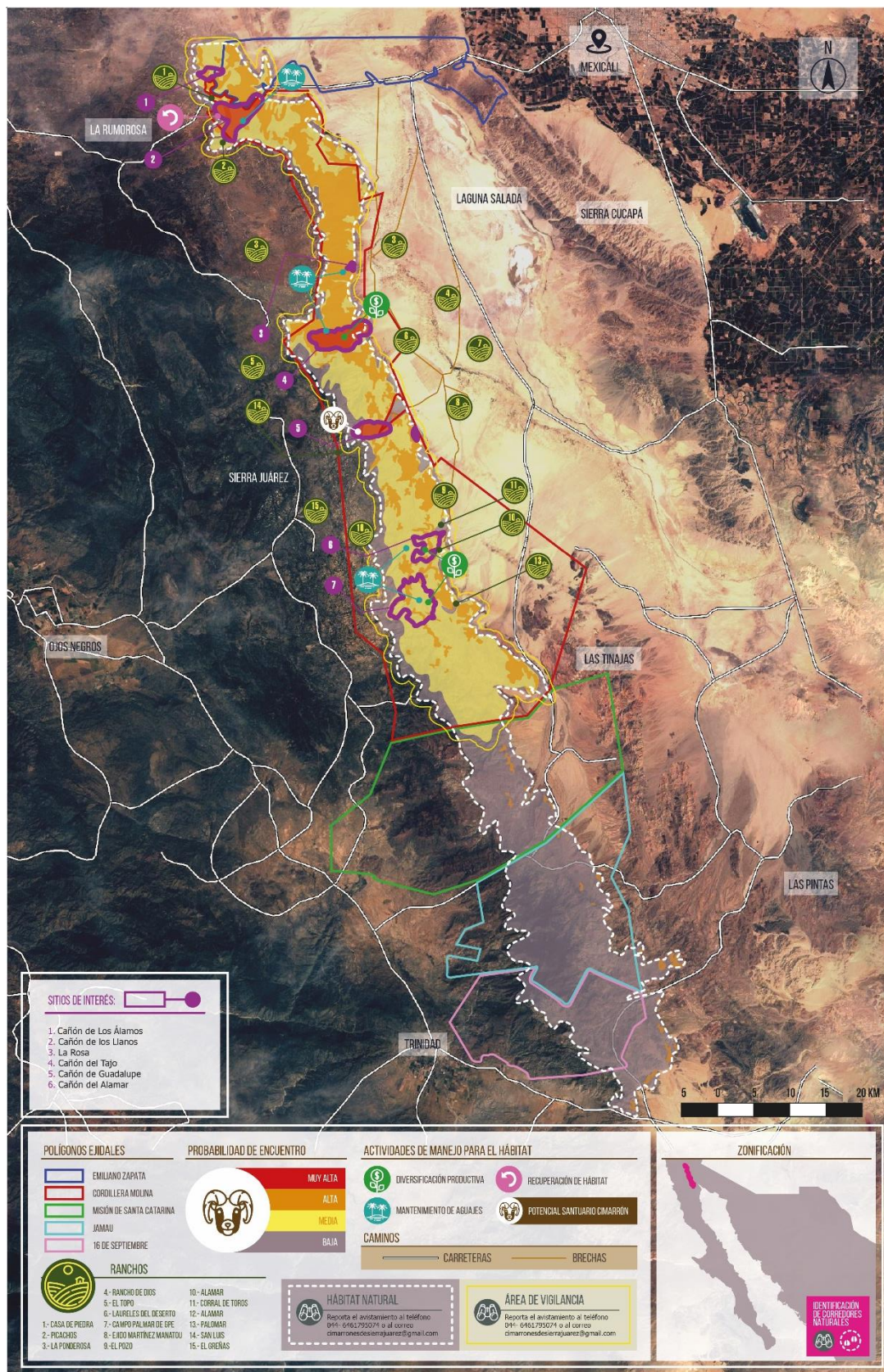


Figura 20. Propuesta de plan de manejo para el hábitat del borrego cimarrón en Sierra Juárez.

VII. Discusión

En Sierra Juárez se registraron 8.1 evidencias de borrego cimarrón por hora, lo que indica que es un sitio con actividad importante de la especie en el estado de Baja California, si se toma en cuenta la información de Martínez (2011), quién registró en las sierras Los Paredones 1.76 evidencias/hora, Agua de Soda 6.6 evidencias/hora, La Libertad 7.9 evidencias/hora, San Pedro Mártir 8.7 evidencias/hora y Santa Isabel 14.4 evidencias/hora.

Aunque existen diversas investigaciones del hábitat del borrego cimarrón para la península de Baja California (Montoya, 1998; Lara *et al.*, 2001; Eaton, 2002; Guerrero *et al.*, 2003; Álvarez *et al.*, 2009; Mesa, 2013; Escobar *et al.*, 2015), estas se concentran en pocas cadenas montañosas que por su estatus como área natural protegida o cercanía a las grandes ciudades han acaparado la atención de este tipo de estudios, dejando así un vacío de conocimiento que dificulta la comparación entre las distintas sierras borregueras de la península. Sin embargo, la información existente indica que estas comparten tanto tipos de clima como tipos de vegetación (INEGI, 2013; García y CONABIO, 1998), además en las sierras San Pedro Mártir, San Felipe, Santa Isabel y El Mechudo al igual que en Sierra Juárez el terreno es predominantemente de baja escabrosidad (menor de 50 m) donde las pendientes en su mayoría son menores del 50% y la orientación general es hacia el este (Eaton, 2002; Escobar, 2008; Álvarez *et al.*, 2009; Escobar *et al.*, 2015). Es importante mencionar que la información del relieve que se ha generado de las sierras de la península ha sido a partir de modelos digitales de elevación de diversa resolución, por lo que las comparaciones entre las mismas deben hacerse con reserva.

Los tipos de climas para el área de estudio generados a partir de las superficies climáticas de alta resolución de México (Cuervo *et al.*, 2014), resultaron ser los mismos que los descritos por García y CONABIO (1998), aunque de dimensiones territoriales diferentes (Figuras 7 y 10).

El análisis de la heterogeneidad ambiental en Sierra Juárez asociada a: la pendiente, la orientación, la escabrosidad, la cobertura vegetal, el tipo de vegetación y el tipo de clima. Mostró que esta cordillera, debido a su extensión latitudinal y altitudinal, presenta seis dominios ambientales (Figura 11), heterogeneidad que también ha sido reportada para San Pedro Mártir, donde se han descrito cinco tipos de hábitats al considerar la pendiente, la pedregosidad, la cobertura vegetal y, la frecuencia de árboles, arbustos y herbáceas, (Montoya, 1998).

El 94% de las evidencias de borrego cimarrón se registraron en los dominios ambientales donde el tipo de vegetación predominante es el matorral (Figura 11). Estos sitios de acuerdo al análisis de heterogeneidad ambiental se caracterizan por ser ligeramente escabrosos y con valores de NDVI bajos, condiciones por la que tiene preferencia la especie (Monson y Sumer, 1980; Wilson *et al.*, 1980; Holl, 1982; Álvarez 2009; Escobar *et al.*, 2015). La interpretación de este resultado debe realizarse con reservas pues está fuertemente influenciado por el diseño de muestreo del rastreo de los organismos de 2016, el cual estuvo en función de la accesibilidad de los sitios.

De acuerdo con el modelo de nicho ecológico, las condiciones medioambientales adecuadas para la distribución del borrego cimarrón en Sierra Juárez se encuentran tanto en las partes altas como bajas de las regiones del norte y centro de la

cordillera, las cuales en su mayoría están dentro del polígono del Ejido Cordillera Molina (Figuras 5 y 13), lo que contrasta con lo reportado por García (2014) y Taxis (2014), quienes con base en los registros obtenidos del censo aéreo de 2012 y la colocación de cámaras trampa, respectivamente, determinaron que la especie habita en una franja continua que se extiende de norte a sur tanto en La Rumorosa como en toda Sierra Juárez entre los 700-1200 msnm. Estas diferencias se deben a que en el vuelo de 2012 y en la colocación de las cámaras trampa, el esfuerzo de muestreo se concentró en las partes altas de la sierra, lo que sesgo el análisis de los datos, pues para la construcción de los modelos de hábitat potencial, estos autores emplearon la altitud como la variable de mayor significancia, por lo que dejaron fuera áreas donde se encontraron abundantes evidencias de actividad de los organismos durante el trabajo de campo de la presente investigación, e incluyeron zonas que según el algoritmo de máxima entropía tienen baja o nula probabilidad de ocurrencia de la especie.

La modelación también dio como resultado que en la región sur de Sierra Juárez la probabilidad de encuentro de sitios que presenten condiciones adecuadas para la especie es bajo, coincidiendo con lo observado por Martínez (2011) quien reporta que la población de borregos en esta zona tiene serios problemas debido al: incremento de la ganadería extensiva desordenada, la incursión de especies exóticas que se han vuelto ferales como los burros y las cabras, las carreras Off Road y la cantidad de cercos que impiden los desplazamientos altitudinales de los rebaños. Sin embargo, en la presente investigación, la baja probabilidad de ocurrencia de la especie en esta área se atribuye a la ausencia de condiciones

medioambientales adecuadas para los organismos, al predominar los tipos de vegetación con coberturas vegetales densas y los terrenos poco accidentados, resultando ser un hábitat completamente diferente del que se encuentra en el centro y norte de la cordillera (Figuras 11 y 12).

El modelo de nicho ecológico que se presenta en esta investigación debe considerarse como parcial, ya que debido a la cercanía de las localidades de registro es posible que el modelo se haya sobre ajustado por dependencia entre los puntos (Figura 14a). No obstante tiene un buen funcionamiento para distinguir entre los sitios donde la presencia de los organismos es probable y donde no (Figura 14b) (Soberón y Peterson, 2005).

A diferencia de lo observado por Montoya (1998) y Lara *et al.* (2001) en Sierra San Pedro Mártir donde la pendiente fue el componente del hábitat que principalmente determinó la distribución del borrego cimarrón, en Sierra Juárez ésta respondió en mayor medida a la vegetación (Figura 15, tabla 13). Esta discrepancia puede deberse a que en el presente trabajo el área de estudio comprendió únicamente la franja escarpada de la serranía mientras que en las investigaciones de San Pedro Mártir se incluyeron las superficies del valle desértico y la meseta boscosa que rodean el parteaguas de la cordillera, cuyo relieve es la principal diferencia con la zona de cañones, en donde se encontraron la mayoría de las evidencias de la especie de dichos estudios.

Por su parte Eaton (2002), al elaborar un modelo de probabilidad de ocurrencia del borrego cimarrón en la zona de cañones de Sierra San Pedro Mártir, identificó la pendiente como una variable de poca importancia para la construcción del mismo,

siendo la escabrosidad y la orientación las variables que en mayor medida afectan la distribución potencial de los organismos en el sitio.

En este mismo sentido, la respuesta de la distribución de los organismos a la pendiente en Sierra Juárez resultó ser indiferente (Figura 16), contrastando con lo reportado por López *et al.* (1999) y Guerrero *et al.* (2003) quienes concluyeron que el borrego del desierto evade los sitios con pendientes menores del 60%. Situación que se atribuye a que los valores de idoneidad del componente topográfico se modifican según la escala que se esté utilizando (Divine *et al.*, 1996), pues mientras en los estudios antes mencionados esta variable se midió en campo obteniendo un valor real de su magnitud en el sitio, en la presente investigación se calculó a partir de un modelo digital de terreno a una resolución de 30x30 m, el cual tiene imprecisiones inherentes a: la fuente original de los datos utilizados para crearlo; interpolaciones de elevaciones que no representan la verdadera altitud del terreno para una locación en particular; y a que la exactitud de los modelos de elevación es mayor en los terrenos planos que en los escarpados (Riley *et al.*, 1999).

Además es importante señalar, que en estudios de modelación del nicho ecológico de especies de ungulados silvestres que habitan áreas montañosas como: el kri-kri (*Capra aegagrus cretica*) en la isla de Creta, Grecia; el urial (*Ovis orientalis gmelini*) en el este de Terán, Irán; y, el íbice siberiano (*Capra sibirica*), el argali (*Ovis ammon*) y el baral (*Pseudois nayaur*) en el área montañosa de Karakoram-Pamir, en la frontera entre China y Pakistán. Ha sido reportado que la pendiente es un elemento estructural de poca importancia para la creación de estos modelos, siendo la

vegetación, el clima y el componente antrópico las variables de mayor influencia para su distribución (Katsaounis, 2012; Keya *et al.*, 2016; Khan *et al.*, 2016).

Por otro lado, la escabrosidad fue una de las variables de mayor contribución para la creación del modelo de nicho (Tabla 13), pues esta da cuenta de la cantidad de terreno de escape disponible en el sitio al ser el resultado del cálculo de la heterogeneidad del relieve (Riley *et al.*, 1999; Escobar *et al.*, 2015). Siendo los terrenos ligeramente escabrosos (35-160 m) aquellos que se relacionaron con la distribución del borrego peninsular en Sierra Juárez, resultados consistentes con lo reportado en las sierras de Santa Isabel y el Mechudo, donde el borrego se encontró asociado a sitios cuyos valores de escabrosidad oscilaron entre los 21-267 m, típicos de sierras medianas y altas con cañones que le brindan protección a los rebaños (Álvarez 2009; Escobar *et al.*, 2015).

Así mismo la distribución del borrego cimarrón se encontró relacionada a: comunidades vegetales con valores de cobertura bajos (Figura 16), los cuales proveen visibilidad o menor obstrucción visual, para la detección de los depredadores (Monson y Sumer, 1980; Wilson *et al.*, 1980; Holl, 1982; Álvarez *et al.*, 2009); vegetación de tipo palmar natural y galería (Figura 16), pues como se comprobó en el trabajo de campo, están asociadas a cuerpos de agua superficiales; orientaciones de ladera hacia el este (Figura 16), al igual que lo reportado por Guerrero *et al.* (2003) en la Sierra del Mechudo, al ser estas las de mayor disponibilidad en ambas cordilleras; y como en el estudio de García (2014), a los climas muy árido semicálido [BW_h(x')], muy árido templado [BW_k(x')] y muy árido templado [BW_{ks}] (Figura 16).

La evaluación de la calidad del hábitat para el borrego cimarrón permitió reconocer que en Sierra Juárez existen sitios tan importantes para la conservación de la especie (Cañón de Guadalupe y Cañón del Ranchito) como en las sierras San Pedro Mártir (Cañón del Diablo y Cañón del Oso), Santa Isabel (Arroyo Grande y la Cañada del Parral), y La Libertad (Aguaje de San Gregorio) (Martínez, 2011).

Esta evaluación también mostro que los cañones del Tajo y del Palomar aunque son localidades con cuerpos de agua permanente y cuentan con un hábitat adecuado para el borrego peninsular (Figura 13), no se pueden categorizar como sitios vitales para la conservación de la especie, pues el uso del pie de monte en estas áreas es de agostadero de ganado equino y bovino, el cual compite con el borrego por agua, espacio y alimento (Wakelyn, 1987; Mesa, 2013).

El Cañón de los Llanos se categorizo como “Zona de amortiguamiento” a pesar de contar con elementos estructurales adecuados para la especie (Figura 13), debido a su cercanía con el basurero de la Rumorosa y la carretera federal número dos, pues estos lugares además de atraer fauna nociva para el hábitat original, acumulan desechos con diversas características toxicológicas cuyos lixiviados tienen efectos adversos sobre la flora y fauna silvestre, ya sea por la destrucción de la capa fértil del suelo, bioacumulación o intoxicación directa de los organismos (Israde *et al.*, 2005; Bernache, 2012).

Hasta el momento no se había realizado un plan de manejo, para una particular zona de distribución del borrego cimarrón, con información tan completa como el que se presenta en esta tesis, ya que contiene las líneas estratégicas a seguir, los objetivos que se esperan cumplir, los actores que deben participar y las acciones

que se deben ejecutar para llevar acabo un manejo integral del hábitat de la especie. Mientras que otros estudios de enfoque similar únicamente se han quedado en la propuesta de recomendaciones de manejo (Montoya, 1998; Eaton 2002; Escobar 2008).

Sin embargo para elaborar el plan de manejo se retomaron algunos objetivos estratégicos propuestos en investigaciones previas del borrego cimarrón, los cuales fueron: manejar el ecosistema en su conjunto para aprovechar de manera sostenible al borrego cimarrón mediante la figura legal de UMA (Montoya, 1998); promover el aprovechamiento sostenible de la especie para que se continúen con los programas de investigación tanto de sus poblaciones como de su hábitat, donde la administración del recurso sea un esfuerzo conjunto entre academia, gobierno y sociedad (Eaton, 2002); y zonificar los lugares de distribución del borrego cimarrón en áreas de conservación y áreas de rehabilitación (Escobar, 2008).

Aunque existe en Baja California una estrategia estatal para la conservación y manejo sustentable del borrego cimarrón (Gobierno del Estado de Baja California, 2012), su utilidad para el manejo de la especie en Sierra Juárez es mínima, ya que carece de la propuesta de acciones concretas que impulsen el aprovechamiento del recurso. Además por ser una estrategia de escala estatal, no cuenta con información de la problemática particular que se tiene en Sierra Juárez, y desde su publicación a la fecha han surgido nuevos inconvenientes relacionados principalmente con el hartazgo que tiene el sector ejidal del tema borrego cimarrón, pues desde que entró en vigor no se ha observado resultado alguno en beneficio de la especie ni de los poseedores del recurso.

Es en este contexto que el plan de manejo que aquí se presenta cobra importancia, pues viene a llenar los huecos de información que se han dejado en investigaciones previas, convirtiéndose en una guía para abordar temas referentes a: el manejo regional de la especie; el fortalecimiento de las capacidades de vigilancia participativa; el control de los principales factores de amenaza para su hábitat; la diversificación productiva de sus zonas de distribución; y la creación de mecanismos de financiamientos para la operación de las UMA's. Temas que a su vez son los principales objetivos a cumplir para poder realizar un manejo sostenible de la especie, de acuerdo con el Gobierno del Estado de Baja California (2012).

VIII. Conclusiones

- En Sierra Juárez existe una importante actividad del borrego cimarrón, donde la tasa de observación de evidencias de la especie por hora es igual a 8.1.
- En la zona de cañones de Sierra Juárez se presentan seis dominios ambientales.
- De acuerdo al modelo de nicho ecológico, las condiciones medioambientales adecuadas para el borrego cimarrón se encuentran tanto en las partes altas como bajas de las regiones del norte y centro de Sierra Juárez. Siendo los cañones del Ranchito, Los Llanos, El Tajo y Guadalupe aquellos en los que se tiene la mayor idoneidad geográfica.
- De acuerdo al modelo de nicho ecológico, la mayor extensión territorial que presenta condiciones medioambientales adecuadas para el borrego cimarrón en Sierra Juárez se encuentra en su mayoría dentro del polígono del Ejido Cordillera Molina.
- La modelación de nicho ecológico mostro que en Sierra Juárez la vegetación es el principal componente del hábitat que determina la distribución del borrego peninsular.
- La modelación de nicho ecológico mostro que la escabrosidad es la variable del relieve de mayor importancia para la distribución del borrego cimarrón en Sierra Juárez.
- Las condiciones medioambientales óptimas para el borrego cimarrón en Sierra Juárez se encuentra en: zonas rocosas con escasa cobertura vegetal (de acuerdo con los valores de NDVI), vegetación de tipo palmar natural y

galería, en los climas muy árido semicálido [BWh(x')], muy árido templado [BWk(x')] y muy árido templado [BWks], laderas con orientaciones hacia el este, escabrosidades que van de los 35-160 m y pendientes de entre 0-65%.

- De acuerdo a la evaluación de la calidad del hábitat, los sitios evaluados en las regiones del norte y centro de Sierra Juárez poseen condiciones medioambientales adecuadas para el borrego cimarrón y se encuentran en buen estado de conservación.
- Según la evaluación de calidad del hábitat, los cañones del Ranchito y Guadalupe son sitios de vital importancia para el borrego cimarrón.
- El cañón de los Llanos se encuentra en riesgo de perder su aptitud como zona de distribución del borrego cimarrón, debido a su cercanía con el basurero de la Rumorosa y la carretera federal número dos.
- El marco de evaluación de la calidad del hábitat, comprobó ser una útil herramienta complementaria para el modelo de nicho. Pues permite identificar, tanto las amenazas que pudieran comprometer la aptitud de los sitios muestreados para ser utilizados por los hatos de borregos, como las acciones necesarias para la recuperación y mantenimiento de los mismos a una escala fisiográfica.
- Se propone por primera vez un plan de manejo integral del hábitat del borrego cimarrón que permitirá conservar e incrementar la población de la especie y generar beneficios a los poseedores del recurso en Sierra Juárez.

IX. Literatura citada

Álvarez, C., T. Gallina, C. Díaz, I. Guerrero, V. Castellanos y Z. Mesa. 2009. Evaluación de elementos estructurales del hábitat del borrego cimarrón en la Sierra del Mechudo, Baja California Sur, México. *Tropical Conservation Science* 2 (2): 189-203.

Álvarez, J. y R. Medellín. 2005. *Vertebrados superiores exóticos en México: diversidad, distribución y efectos potenciales*. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/exoticas/fichaexoticas/Ovisdalli00.pdf>. Fecha de acceso: junio 2016.

Álvarez, T. 1976. Status of desert bighorn sheep in Baja California. *Desert Bighorn Council Transactions* 20: 18-21.

Benito de Pando, B. y J. Peña de Giles. 2007. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la península ibérica. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica* 7: 100-119.

Berger, J. 1978. Group size, foraging, and antipredator ploys: an analysis of bighorn sheep decisions. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 4: 91-99.

Bernache, G. 2012. Riesgo de contaminación por disposición final de residuos. Un estudio de la región centro occidente de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 28(1): 97-105.

Blood, D., D. Flook y W. Wishart. Weights and growth of Rocky Mountain bighorn sheep in western Alberta. *Journal of Wildl Management* 34: 451-455.

Buchalski, M., A. Navarro, W. Boyce, T. Vickers, M. Tobler, L. Nordstrom, J. Alaníz, D. Gille, M. Penedo, O. Ryder and H. Ernest. 2015. Genetic population structure of peninsular bighorn sheep (*Ovis canadensis nelsoni*) indicates substantial gene flow across US-Mexico border. *Biological Conservation* 184: 218-228.

Cowan, I. 1940. Distribution and variation in the native sheep of North America. *The American Midland Naturalist*. 24(3): 505-580.

Cuervo, A., O. Téllez, M. Gómez, C. Venegas, J. Manjarrez and E. Martínez. 2014. An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology* 34: 2427-2437.

Davis, D. 1980. Estimating the numbers of wildlife populations. In: *Wildlife Management Techniques Manual*. The Wildlife Society. pp. 221-245.

Delgadillo, J. y M. Peinado. 2008. Diversidad vegetal de los bosques de coníferas de las Sierras de Juárez y San Pedro Mártir, Baja California, México. *Memorias del VI Simposio Internacional sobre flora silvestre en zonas áridas*. La Paz, B.C.S. pp. 26.

Divine, D., E. Donald and C. Douglas. 1996. Effects of the scale defining topographically suitable desert bighorn sheep habitat. *Desert Bighorn Council Transactions* 40: 13-18

Eaton, R. 2002. *Estrategia de manejo para el borrego cimarrón (Ovis canadensis cremnobates Elliot, 1903), basada en la evaluación de los elementos estructurales*

del hábitat, en la Sierra San Pedro Mártir, Baja California, México. Tesis de Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas, Facultad de Ciencias, UABC, Ensenada. 137 p.

Elith, J., C. Graham, R. Anderson, M. Dudík, S. Ferrier, A. Guisan, R. Hijmans, F. Huettmann, J. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L. Lohmann, B. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J. Overton, T. Peterson, S. Phillips, K. Richardson, R. Scachetti, R. Schapire, J. Soberón, S. Williams, M. Wisz and N. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29(2): 129-151.

Escobar, J. 2008. *Análisis espacio-temporal de la proporción de sexos y uso del hábitat del borrego cimarrón (Ovis canadensis) para elaborar recomendaciones de manejo en la sierra San Felipe, Baja California, México.* Tesis de Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas, Facultad de Ciencias, UABC, Ensenada. 77 p.

Escobar, J., S. Álvarez, R. Valdez, J. Torres, S. Díaz, A. Castellanos y R. Martínez. 2015. Detección de las preferencias de hábitat del borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) en Baja California, mediante técnicas de teledetección satelital. *Therya* 6(3): 519-534.

Esquivel, D. 2015. *Evaluación de la diversidad genética en poblaciones de borrego cimarrón (Ovis canadensis cremnobates) al norte de Sierra Juárez, Baja California, con marcadores moleculares.* Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Ciencias, UABC, Ensenada. 33 p.

Ezcurra, E. and S. Gallina. 1981. Biology and population dynamics of white-tailed deer in northwestern Mexico. In: *Deer Biology, Habitat Requirements, and Management in Western North America*. Instituto de Ecología, A. C., México. pp. 78-108.

Ferrier, S. and A. Guisan. 2006. Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology* 43(3): 393-404.

Galindo, M. 2000. *Hábitos alimenticios del Borrego Cimarrón (Ovis canadensis cremnobates) en la sierra de San Pedro Mártir, Baja California, México*. Tesis de Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas, Facultad de Ciencias, UABC, Ensenada. 84 p.

García, E. y CONABIO. 1998. *Climas* escala 1:1 000 000 Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Fecha de acceso abril: 2016.

García, O. 2014. *Caracterización de Hábitat del Borrego Cimarrón (Ovis canadensis) en la Sierra de Juárez, Baja California, México*. Tesis de Licenciatura (Agrobiología), Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo. 62 p.

Gastelum, L. 1997. *Propuesta para el manejo integral de la ganadería extensiva en el ejido Sierra de Juárez, Baja California, México*. Tesis de Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas, Facultad de Ciencias, UABC, Ensenada. 128 p.

Geist, V. 1968. On delayed social and physical maturation in mountain sheep. *Canada Society of Zoology* 46: 899-904.

Gobierno del Estado de Baja California. 2012. Estrategia Estatal para la Conservación y Manejo Sustentable del Borrego Cimarrón (*Ovis canadensis*

cremnobates) en Baja California. *Periódico oficial del estado de Baja California*. CXX (11): 3- 126.

González, A. 2011. Cinco métodos sencillos para estimar el tamaño de las poblaciones de fauna silvestre. En: *Manual de Técnicas para el estudio de la Fauna*. Instituto de Ecología, A.C., Querétaro. pp. 161-177.

González, C., P. Garcillán y E. Ezcurra. 2010. Ecorregiones de la Península de Baja California: una síntesis. *Boletín Sociedad Botánica de México* 87: 69-82.

GSCO. North American Wild Sheep. Disponible en: http://www.wildsheep.org/sheep/north_american.htm. Fecha de acceso: junio 2016.

Guerrero, I., I. Tovar y Álvarez S. 2003. Factores que afectan la distribución espacial del borrego cimarrón *Ovis canadensis weemsi* en la Sierra del Mechudo, B.C.S., México. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología* 74(1): 83-98.

Hall, E. 1981. *The mammals of North America. Vol. II*. 2° ed. John Wiley, New York. 1300 p.

Hansen, C. and O. Deming. 1980. Growth and development. In: *The Desert Bighorn: Its life history, ecology and management*. The University Arizona Press. pp. 152–171.

Hernández, P., I. Franke, S. Herzog, V. Pacheco, L. Paniagua, H. Quintana, A. Soto, J. Swenson, C. Tovar and T. Valqui. 2008. Predicting species distributions in poorly-studied landscapes. *Biodiversity and Conservation* 17; 1353-1366.

Holl, S. 1982. Evaluation of bighorn sheep habitat. *Desert Bighorn Council Transactions* 26: 47–49.

INE y DGVS. 2000. Proyecto para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable del borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) en México. Disponible en: <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/186.pdf>. Fecha de acceso: junio 2016.

INEGI. 1985. *Carta de efectos climáticos regionales noviembre-abril: San Felipe*, escala 1:250 000.

INEGI. 2013. *Continuo de Elevaciones Mexicano, 3.0*. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx>. Fecha de acceso: mayo 2016.

INEGI. 2013. *Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación, serie V* escala 1:250 000. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Fecha de acceso: abril 2016.

Ingles, LI. 1965. *Mammals of the Pacific states: California, Oregon and Washington*. Stanford University Press, California. 506 p.

Israde, I., O. Buenrostro and A. Carrillo. 2005. Geological characterization and environmental implications of the placement of the Morelia Dump, Michoacán, central Mexico. *Journal of the Air & Waste Management Association* 55(6): 755-764.

Katsaounis, C. 2012. *Habitat use of the endangered and endemic Cretan Capricorn and impact of domestic goats*. Thesis of Master of Science in Geo-information

Science and Earth Observation, Faculty of Geo-information Science and Earth Observation, ITC, Netherlands. 90 p.

Keya, Z., S. Faryadi, A. Yavari, Y. Kamali and A. Shabani. 2016. Habitat suitability & connectivity of Alborz wild sheep in the east of Tehran, Iran. *Open Journal of Ecology* 6: 325-342.

Khan, B., A. Ablimit, G. Khan, A. Jasra, H. Ali, R. Ali, E. Ahmad and M. Ismail. 2016. Abundance, distribution and conservation status of Siberian ibex, Marco Polo and Blue sheep in Karakoram-Pamir mountain area. *Journal of King Saud University – Science* 28: 216-225.

Krausman, P., A. Sandoval and R. Etchberger. 1999. Natural history of desert bighorn sheep. In: *Mountain sheep of North America*. University of Arizona, Tucson. pp. 139–191.

Krebs, C. 1978. *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*. 2^oed. Harper and Brothers, San Francisco. 678 p.

Lara, J., R. Martínez and M. Montoya. 2001. Identification of preferred sites of peninsular bighorn sheep in Sierra San Pedro Martir, Baja California, using random walk simulation. *Desert Bighorn Council Transactions* 45: 95-102.

Lee, R. 1989. *The Desert Bighorn Sheep in Arizona*. The University of Arizona Press, Tucson. 50 p.

Lee, R. and E. Mellink. 1996. Status of bighorn sheep in Mexico -1995. *Desert Bighorn Council Transactions* 40: 35-39

Lee, R. 1998. Desert bighorn sheep. In: The Wild Sheep Journal. Utha Press. pp. 50-56

Lee, R. 2011. Economic aspects of and the market for desert bighorn sheep. *Desert Bighorn Council Transactions* 51: 46-49

Lee, R., R. Martínez, J. Zatarain and J. Escobar. 2012. Observations on the distribution and abundance of bighorn sheep in Baja California, Mexico. *California Fish and Game* 98(1): 51-59.

López, E., R. Lee, J. de Vos, R. Schweinsburg and G. Salazar. 1999. Relación uso-disponibilidad de componentes topográficos y un modelo de calidad del hábitat para el borrego cimarrón, en Sonora, México. *Acta Zoológica Mexicana* 76: 17-34.

López, G., G. Ruiz and M. Rodríguez. 1995. Population density of desert bighorn in northern Baja California, Mexico (cañadas Arroyo Grande and Jaquejel). *Desert Bighorn Council Transactions* 39: 42-49.

Mandujano, S. 1994. Método para evaluar el hábitat del venado cola blanca en un bosque de coníferas. En: *Ecología y manejo del venado cola blanca en México y Costa Rica*. Exuma, Heredia. pp. 283-297.

Martínez, R. 2011. *Muestreo terrestre de la población de borrego cimarrón en Baja California*. Reporte técnico. Facultad de ciencias, UABC, Ensenada. 24 p.

Mesa, E. 2013. *Diagnóstico del hábitat del borrego cimarrón (Ovis canadensis weemsi) en función de variables ambientales y actividades antropogénicas en la Sierra el Mechudo, Baja California Sur, México*. Tesis de Doctorado en Ciencias, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz. 142 p.

Monson, G and L. Sumer. 1980. *The Desert Bighorn: Its Life History, Ecology, and Management*. The University of Arizona Press, Tucson. 200 p.

Montoya, M. 1998. *Evaluación del hábitat del borrego cimarrón (Ovis canadensis cremnobates) con fines de manejo en la Sierra San Pedro Mártir, Baja California, México*. Tesis de Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas, Facultad de Ciencias, UABC, Ensenada. 96 p.

Morales, N. 2012. Modelos de distribución de especies: software Maxent y sus aplicaciones en conservación. *Revista Conservación Ambiental* 2(1): 1-5.

Naoki, K., M. Gómez, R. López y J. Vargas. 2006. Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. *Ecología en Bolivia* 41:65-78.

Nowak, R. 1991. Artiodactyla: Bovidae. In: *Walker's Mammals of the world*. Vol. II. 5° ed. Baltimor & London. pp. 1494-1499.

PATN development team. 2013. *PATN.EXE pattern analysis software package, Versions: 3.1.2.0* Disponible en: <http://www.patn.com.au/about/default.htm>. Fecha de acceso: octubre 2016.

Peraza, I. 2004. *Hábitos alimenticios de dos poblaciones de Borrego Cimarrón (Ovis canadensis) en Baja California Sur y Sonora, México*. Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Ciencias, UABC, Ensenada. 128 p.

Phillips, S., R. Anderson and R. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.

Phillips, S. 2013. *A brief tutorial on Maxent, Versions: 3.3.1*. Disponible en: <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>. Fecha de acceso: junio 2016.

QGIS development team. 2016. *QGIS Geographic Information System, Versions: 2.8.6* Disponible en: <http://qgis.osgeo.org>. Fecha de acceso: febrero 2016.

Reyes, S. 1976. Caza del borrego cimarrón en Loreto, B.C. *Bosques y Fauna* 14(5): 3-14.

RAN. 2016. *Perimetales de los núcleos agrarios certificados, entidad federativa Baja California*. Disponible en: http://datos.ran.gob.mx/filescd/dgcat/ran_da_dgcat_poligonos_nucleos_agrarios_bc.kml. Fecha de acceso: enero 2017.

Riley, S., S. DeGloria and R. Elliot. 1999. A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences* 5(1-4): 23-27.

Rouse, J., R. Hass, J. Schell, D. Deerino and J. Harlan. 1974. *Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation*. Disponible en: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19730017588.pdf>. Fecha de acceso: febrero 2016.

Ruiz, E. 2014. *Estado actual de la población del borrego cimarrón (Ovis canadensis weemsi) en la UMA Ejido La Purísima, Baja California Sur, México*. Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, Estado de México. 51 p.

Salmon, E. 1999. *Variación morfométrica de cráneos de borrego cimarrón Ovis canadensis cremnobates Elliot, 1903 y Ovis canadensis weemsi Goldman, 1937*.

Tesis de Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas, Facultad de Ciencias, UABC, Ensenada. 50 p.

Sánchez, R. 1978. Hábitos alimenticios del borrego cimarrón. *Bosques y Fauna* 1(1): 47-55.

Schoenecker, K., F. Singer, L. Zeigenfuss, D. Binkley and R. Menezes. 2004. Effects of elk herbivory on vegetation and nitrogen processes. *Journal of Wildlife Management* 68: 837-849.

SEMARNAT. 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación* jueves 30 de diciembre de 2010. 78 p.

Smith, N. and P. Krausman. 1988. Desert Bighorn Sheep: A guide to select management practices. *Fish & Wildlife Service* 88(35): 1-20.

Smithsonian Institution. Mamíferos de América del Norte. Disponible en: http://www.mnh.si.edu/mna/image_info.cfm?species_id=242&lang=_sp. Fecha de acceso: junio 2016.

Soberón, J. and T. Peterson. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2: 1-10.

Soto, S. 2006. *Monitoreo no invasivo de las etapas reproductivas en borregos cimarrón (Ovis canadensis mexicana) en cautiverio mediante la observación conductual reproductiva y la cuantificación de esteroides fecales*. Tesis de Maestría

en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal (Veterinaria), Facultad de Medicina y Zootecnia, UNAM, México. 64 p.

SPP. 1981. *Carta hidrológica de aguas subterráneas: San Felipe*, escala 1:250 000.

SPP. 1982. *Carta edafológica: Mexicali*, escala 1:250 000.

Taxis, R. 2014. *Caracterización del hábitat del borrego cimarrón (Ovis canadensis) en la Rumorosa, Sierra de Juárez, Tecate, Baja California*. Tesis de Licenciatura (Agrobiología), Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo. 45 p.

USGS. 2015. *NDVI, the Foundation for Remote Sensing Phenology*. Disponible en: https://phenology.cr.usgs.gov/ndvi_foundation.php. Fecha de acceso: julio 2016.

USGS. 2016. LC80390382016112LGN00. Disponible en: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Fecha de acceso: julio 2016.

Valdez, R. 1982. *The wild sheep of the world*. Wild Sheep and Goat International, Mesilla, New Mexico, EUA. 186 p.

Valdez, R. and P. Krausman. 1999. *Mountain sheep of North America*. The University of Arizona Press, Tucson. 353 p.

Wakelyn, L. 1987. Changing habitat conditions on bighorn sheep ranges in Colorado. *Journal of Wild Life Management* 51: 904-912.

Walters, C. 1986. *Adaptive Management of Renewable Resources*. The Blackburn Press, British Columbia. 374 p.

Wehausen, J. and R. Ramey. 1993. A morphometric reevaluation of the peninsular bighorn subspecies. *Desert Bighorn Council Transactions* 37: 1-10.

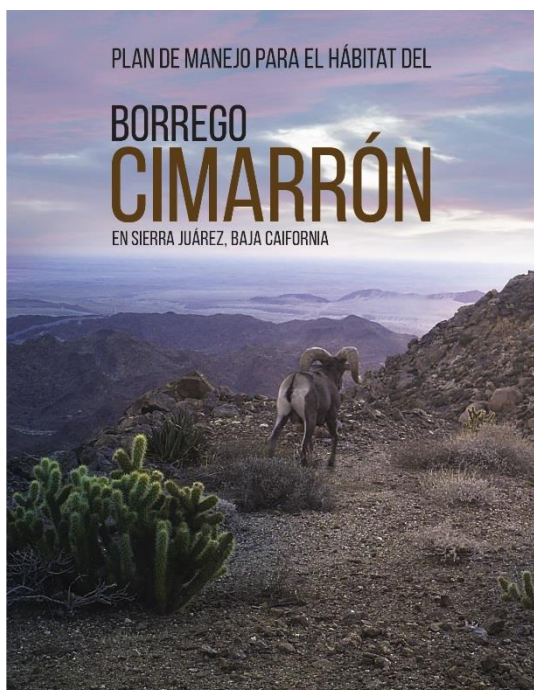
Wild Sheep Foundation. North American bighorn sheep distribution. Disponible en: <https://www.wildsheepfoundation.org/mission-and-programs/conservation-programs>. Fecha de acceso: enero 2017.

Wilson, L., J. Blaisdell, G. Welsh, R. Weaver, R. Brigham, W. Kelly, J. Yoakum, M. Hinks, J. Turner and J. DeForge. 1980. Desert bighorn habitat requirements and management recommendations. *Desert Bighorn Council Transaction* 24: 1-7.

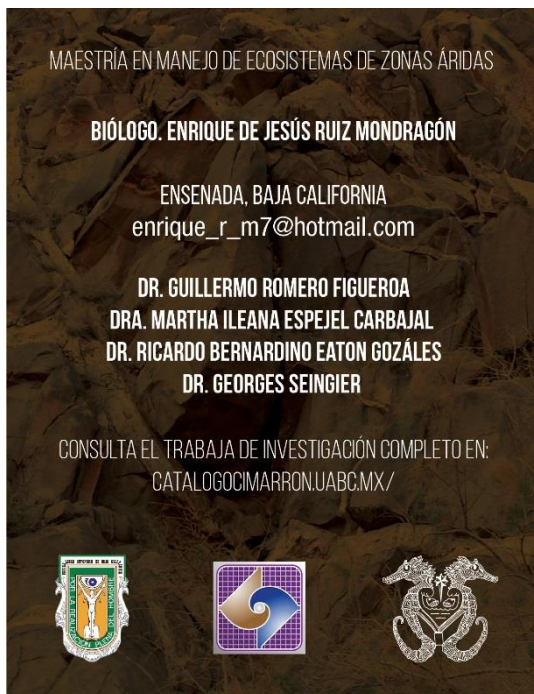
Winchester, L. 2011. *Curso internacional planificación estratégica y políticas públicas*. Disponible en: http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/3/43323/LW_Polpub_antigua.pdf. Fecha de acceso: abril 2017.

X. Anexos

Anexo I. Folleto de divulgación de la propuesta de manejo.



Frente



Reverso



Primer cuadro interior



PLAN DE MANEJO PARA EL HÁBITAT DEL BORREGO CIMARRÓN EN SIERRA JUÁREZ

LÍNEAS ESTRATÉGICAS



UMA EJIDO CORDILLERA MOLINA

Incluir dentro de la superficie de la UMA Ejido Cordillera Molina, la totalidad del área de distribución del borrego cimarrón perteneciente al ejido.



ÁREA DE ESTUDIO Y VIGILANCIA

Tener un equipo de vigilancia capacitado y equipado en la UMA Ejido Cordillera Molina.



MANTENIMIENTO DE AGUAJES

Mantenimiento de cuerpos de agua superficiales: Localizar y mantener en buen estado los aguajes de la región norte y centro de Sierra Juárez.



APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DEL BORREGO CIMARRÓN

Autofinanciamiento de la UMA Ejido Cordillera Molina.



ZONIFICACIÓN

Mapa temático de Sierra Juárez para el manejo del borrego cimarrón.



RECUPERACIÓN DE HÁBITAT

Reubicación de los desechos sólidos urbanos del tiradero de la rumorosa.



DIVERSIFICACIÓN PRODUCTIVA

Establecer un corredor ecoturístico en Sierra Juárez.



POTENCIAL SANTUARIO CIMARRÓN

CORTO PLAZO

MEDIANO PLAZO

ESPERAMOS LOGRAR



Anuencia de los ejidatarios para integrar sus parcelas individuales a la UMA Ejido Cordillera Molina.



Disminución de los reportes de cacería furtiva.



Conocimiento del estado de conservación de la población del borrego cimarrón en Sierra Juárez.



Permanencia de los rebaños de borregos en la cordillera.



Anuencia de los tomadores de decisiones para realizar un aprovechamiento sustentable del borrego cimarrón.



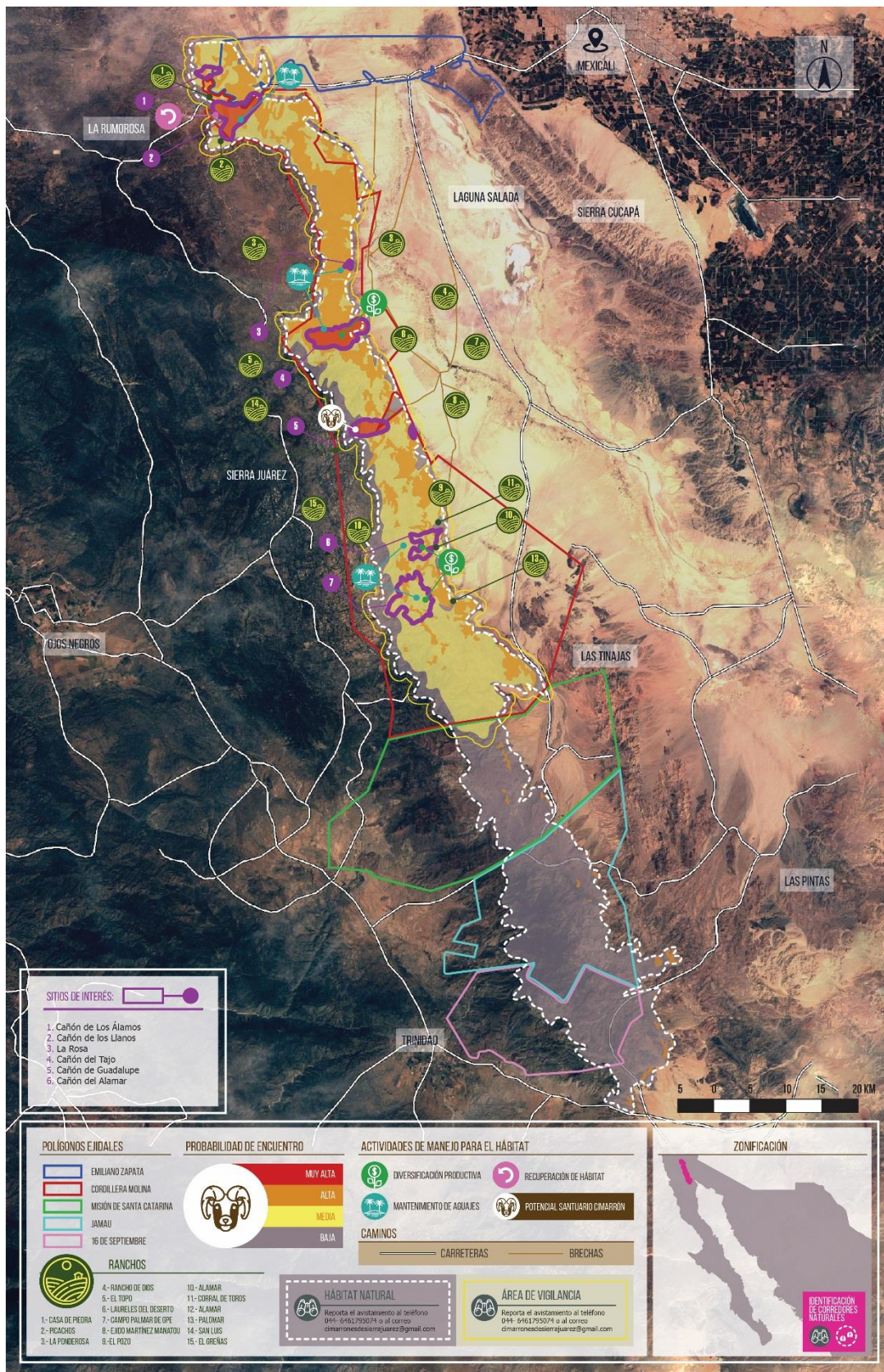
Común acuerdo para el manejo del borrego cimarrón entre los poseedores de recurso.



Incremento de la afluencia turística a la zona.



Segundo cuadro interior



Tercer Cuadro Interior

Anexo II. Sitios de muestreo



Cañón de los Álamos



Cañón de los Llanos



Cañón del Ranchito



Cerro Boludos



Cerros de la Ponderosa



La Rosa



Cañón del Tajo



Cerros de los Laureles del Desierto



Cañón de Guadalupe



Cerros del Ejido Manatou



Cañón del Alamar



Cañón del Palomar