

Utilización de aguajes por el borrego cimarrón (*Ovis canadensis cremnobates*) y análisis de calidad del agua en Sierra Santa Isabel, Baja California, México

Watering sites use by bighorn sheep (*Ovis canadensis cremnobates*) and water quality analysis in Sierra Santa Isabel, Baja California, Mexico

Jonathan G. Escobar-Flores*, Raúl Valdez**, Sergio Álvarez-Cárdenas*, Sara Díaz-Castro*, Aradit Castellanos-Vera*, Jorge Torres***, Mariana Delgado-Fernández*

RESUMEN

Se analizó la utilización de aguajes por el borrego cimarrón en la Sierra Santa Isabel, Baja California, México durante la temporada de sequía de 2011 y 2013 y el periodo de lluvias e inicio de la temporada de sequía del 2015. Asimismo, se estudió la calidad del agua, con base en siete parámetros fisicoquímicos. Se obtuvieron 260 registros fotográficos de borregos cimarrones, donde hembras, añeros y corderos representaron el 73%. En el periodo de lluvias, en dos de los aguajes se obtuvieron valores de conductividad de 1.31 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ y 1.92 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$, y de sólidos disueltos totales de 10.65 ppt y 0.95 ppt, indicando un bajo contenido de sales en el agua. Los valores de oxígeno disuelto mayores a 6.4 ppm, dureza del agua menor a 100 ppm y PH entre 6.5 y 8.5, sugieren que el agua tiene condiciones óptimas para ser bebida por los borregos cimarrones. Los aguajes con mayor utilización por los borregos fueron El Zamora ($n = 120$) y El Cordero ($n = 67$), donde se registraron las mejores condiciones de calidad de agua en este estudio. El mayor registro de hembras y añeros, asociado a condiciones óptimas de calidad del agua, confirman la importancia de los aguajes para la crianza y reclutamiento del borrego cimarrón.

ABSTRACT

Water used by bighorn sheep during the 2011 and 2013 dry seasons and the rainy season and drought of 2015 in the Sierra Santa Isabel of the State of Baja California, Mexico was analyzed for seven physicochemical parameters. At four watering sites, 260 photographs of sheep were obtained. Females, yearlings, and lambs accounted for 73% of the photographs. In the rainy season at two watering sites, conductivity was 1.31 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ and 1.92 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ and total dissolved solids was 0.65 and 0.95 ppt, indicating low salt content and safe for bighorn sheep. The watering sites with greater use by bighorn sheep were El Zamora ($n = 120$) and El Cordero ($n = 67$), which also had the best water quality. The frequent use by females and yearlings of the two sites with optimal water quality support the belief that watering sites for lambing and recruitment of bighorn sheep is important.

Recibido: 8 de junio de 2015
Aceptado: 27 de noviembre de 2015

Palabras clave:
Baja California; borrego cimarrón; calidad del agua; cámaras trampa.

Keywords:
Baja California; bighorn sheep; water quality; camera traps.

Cómo citar:
Escobar-Flores, J. G., Valdez, R., Álvarez-Cárdenas, S., Díaz-Castro, S., Castellanos-Vera, A., Torres, J., & Delgado-Fernández, M. (2016). Utilización de aguajes por el borrego cimarrón (*Ovis canadensis cremnobates*) y análisis de calidad del agua en Sierra Santa Isabel, Baja California, México. *Acta Universitaria*, 26(1), 12-19. doi: 10.15174/au.2016.822

INTRODUCCIÓN

El borrego cimarrón es generalmente reconocido como la especie bandera en los ecosistemas árido-montañosos de su área de distribución en México; es también una especie prioritaria para el país, sujeta a protección especial de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2010), y una de las especies cinegéticas más importantes a nivel nacional e internacional (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca [Semarnat], 2000).

El borrego cimarrón que habita los desiertos se ha adaptado a las condiciones extremas de los ecosistemas áridos; por ejemplo, a la escasez de alimento y disponibilidad de agua. Sus mecanismos eficientes de obtención de agua, a través del metabolismo oxidativo del alimento que consume, le ha permitido permanecer en sierras donde prácticamente no hay agua

* Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, México, C.P. 23096. Tel.: (612) 123 84 84. Correo electrónico: jescobar@cibnor.mx

** Department of Fish, Wildlife and Conservation Ecology, New Mexico State University, USA.

*** Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México.

libre disponible (Broyles & Cutler, 1999). Investigaciones recientes han demostrado que la escasez de agua y los factores relacionados con el cambio climático, como las precipitaciones menores a 100 mm anuales, alteran la cantidad y calidad del alimento aprovechable, lo cual determina, principalmente, que una población de borrego cimarrón permanezca o se extinga (Dolan 2006; Epps, McCullough, Wehausen, Bleich & Rechel, 2004; Whiting, Bowyer & Flinders, 2009). En los desiertos de California se ha reportado una disminución de las fuentes de agua por efecto de la aridez y sequía, trayendo como consecuencia la extinción de varias poblaciones de borrego cimarrón (Longshore, Lowrey & Thompson, 2009).

La disponibilidad de agua no garantiza que el borrego cimarrón la utilice, ya que ello depende de la calidad de la misma (Bleich *et al.*, 2006). En general, en el caso de los bóvidos, como el borrego cimarrón, se han reportado efectos negativos en hembras lactantes y juveniles cuando el agua tiene valores de sólidos disueltos mayores a 3000 ppm y pH ácido. Ello puede ocasionar diarreas severas en los animales, y en casos graves puede inhibir la producción de leche en hembras lactantes (Peterson, 1999; Sultanpur & Raley, 1999). Por su parte, el agua en condición anóxica con acumulación de materia orgánica favorece el desarrollo de la bacteria *Clostridium botulinum*, que produce la toxina botulínica, la cual es una de las causas de muerte de borregos cimarrones (Swift *et al.*, 2000). En agujajes que tienen una mayor utilización y congregación de borregos cimarrones se han reportado problemas de zoonosis de nematodos parasitarios, desarrollados en los pulmones y provocando neumonía; dicha enfermedad se relaciona con una alta mortalidad de corderos (Rogerson, Fairbanks & Cornicelli, 2008).

Se espera que los agujajes con condiciones óptimas de calidad del agua tengan una mayor utilización por el borrego cimarrón. Para probar lo anterior se plantean los siguientes objetivos: determinar la utilización de los agujajes por el borrego cimarrón, evaluar la calidad del agua disponible en agujajes, con base en siete parámetros fisicoquímicos (pH, cloro, oxígeno disuelto, calcio, dureza, conductividad y sólidos disueltos), y analizar la relación entre la utilización de los agujajes y los parámetros de calidad del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica en la Sierra Santa Isabel, en la región central de Baja California (30°12'N;

114°46'O). La sierra se caracteriza por tener el mayor hábitat continuo para el borrego cimarrón en Baja California (2072.4 km²) (figura 1), donde se ha estimado una población de 300 a 400 ejemplares (Lee, Martínez, Zatarain & Escobar, 2012; Martínez & Eaton, 2008).

El tipo de vegetación es matorral xerófilo, las principales especies son *Ambrosia dumosa*, *Prosopis microphylla*, *Cercidium microphyllum* y *Pachycereus discolor* (González-Abraham, Garcillán & Ezcurra, 2010). El clima es semicálido, con temperaturas máximas de 45 °C durante el verano. La precipitación media anual en las vertientes cercanas al Golfo de California es menor a 50 mm, mientras que en la parte central y norte de la sierra la precipitación oscila entre los 100 mm y 150 mm (Roberts & Ezcurra, 2012).

Se seleccionaron y analizaron cuatro agujajes: El Zamora, el manantial más grande en las sierras borregueras del estado de Baja California, cuenta con una superficie de 907.9 m²; El Volcán, también un manantial, que tiene una superficie de 106.78 m²; El Cordero y Los Hemes, tinajas que mantienen agua todo el año, el primero con una superficie 61.2 m² y el segundo con 9.1 m² (figura 2). Los criterios para la selección de estos agujajes fueron con base en el conocimiento de su utilización por los borregos cimarrones, además porque son accesibles para su estudio y se contaba con el permiso de los propietarios de las tierras.

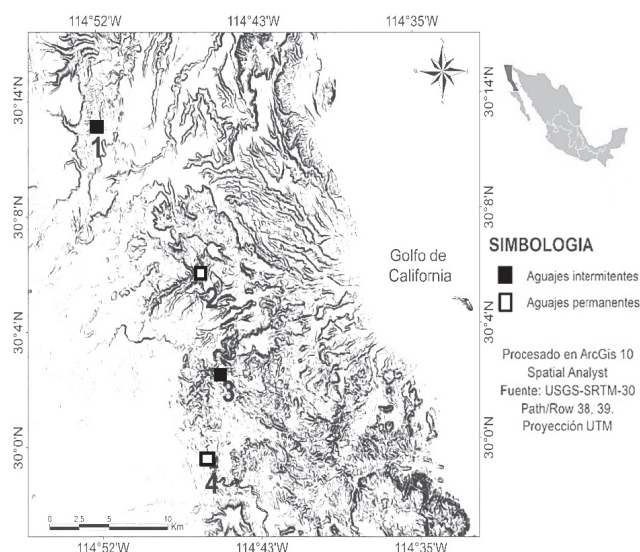


Figura 1. Ubicación de los agujajes en la Sierra Santa Isabel, Baja California: 1. Los Hemes, 2. El Zamora, 3. El Cordero y 4. El Volcán.

Fuente: Elaboración propia.

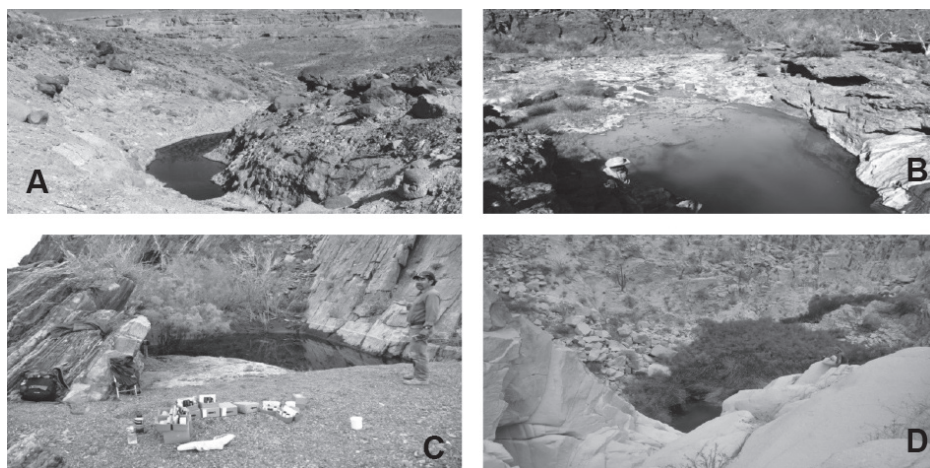


Figura 2. Aguajes evaluados en la Sierra Santa Isabel, Baja California. A: Los Hemes, B: El Volcán, C: El Cordero, D: El Zamora.
Fuente: Elaboración propia.

Utilización de aguajes por el borrego cimarrón

Se utilizó la técnica de fototrampeo, instalando dos cámaras automáticas (Stealth cam® y Busnhell® de ocho mega pixeles) por aguaje con un sistema infra-rojo que detecta objetos en movimiento. Las cámaras se programaron para funcionar de manera continua: una para realizar tres fotografías y la otra para crear una videograbación de 10 s. Las cámaras funcionaron durante el periodo de sequía del 2011 (de julio a noviembre) en los aguajes de Los Hemes y El Zamora, y en el mismo periodo en el 2013 en los aguajes El Volcán y El Cordero.

En cada registro, la edad y el sexo de los borregos se estableció con base en la descripción propuesta por Monson & Summer (1980), quienes definen cuatro clases de edad para los machos, considerando el tamaño del cuerpo y el tipo de cornamenta: clase I (cuernos con un cuarto de curvatura), con edades entre 2 y 3 años; clase II (cuernos con un medio de curvatura), con edades entre 3 y 6 años; clase III (cuernos con tres cuartos de curvatura), con edades entre 6 y 8 años y clase IV (cuernos con curvatura completa, que normalmente alcanza la órbita ocular y con la punta notoriamente desgastada) para borregos cimarrones con edades superiores a los 8 años. Las hembras se clasificaron en jóvenes (cuernos con inicio de curvatura), con edades entre 1 y 2 años, y adultas (cuernos largos con curvatura en forma de L), con edades mayores a los 2 años. Por último, se nombró *añero de ambos sexos* a borregos cimarrones con edades menores a 1 año. En ellos fue visible el inicio del crecimiento del cuerno, pero no resultó claro definir su sexo. Se nombró *corderos de ambos sexos* a borregos que no tenían cuernos.

Los registros fotográficos se separaron con una diferencia de una hora para ser considerados muestras independientes (Cutler & Swann, 1999; Perry, Newman & Thibault, 2010). La variable respuesta fue la frecuencia de registros fotográficos de borregos cimarrones en cada aguaje, y mediante una prueba de *Ji-Cuadrada* se determinó si existen diferencias en la frecuencia de utilización de cada aguaje. Con una prueba de *T-Student* se identificó cuál aguaje tuvo una mayor utilización por los borregos cimarrones.

Para determinar la frecuencia de utilización de cada aguaje se consideraron todas las muestras independientes (registros fotográficos) para calcular el índice de abundancia relativa propuesto por Karanth & Nichols, (1998), conocido como Frecuencia de Captura (FC), y describe con la siguiente ecuación:

$$FC = \frac{\text{Número de individuos en cada muestra} \times 100}{\text{Número de días trampa}}$$

El índice de FC es adecuado para especies que es difícil identificar, pero que la presencia o ausencia es fácil de detectar, como es el caso del borrego cimarrón (Skalski, Ryding & Millsbaugh, 2010).

Evaluación de la calidad del agua.

Mediante un probador multiparamétrico marca Hanna (Hanna instruments®-HI 98130) se midió el potencial de hidrógeno (pH), la conductividad y sólidos disueltos totales. El calcio, cloro, dureza y oxígeno disuelto se determinaron mediante técnicas de titulación colorimétrica, empleando *kits* portátiles Lamotte®.

Los muestreos se realizaron con tubos de vidrio aforados de 25 ml incluidos en cada *kit*, siempre a la misma hora (12:00 a.m.) y a una profundidad de un metro sólo para el caso del oxígeno disuelto (Lamotte, 2015).

Los muestreos de agua en cada aguaje y sus evaluaciones se realizaron a finales del periodo de lluvias (enero del 2015). Este muestreo se utilizó como referencia para analizar la variación de la calidad del agua con los obtenidos en el periodo de sequía. El segundo muestreo se realizó al comienzo del periodo de sequía (principios de mayo del 2015), y fue el que se correlacionó con las FC; en este periodo es donde se reporta la mayor frecuencia de visita de los borregos cimarrones a los aguajes en ecosistemas áridos (Sandoval, Valdez & Espinoza, 2014).

Los resultados obtenidos de los parámetros químicos del agua se compararon con las guías de evaluación de calidad del agua para animales domésticos y silvestres (*Canadian Council of Ministers of the Environment [CCME], 2002; Peterson, 1999*). Para los parámetros que resulten mayores a los reportados en las guías, se describió su posible efecto en los borregos cimarrones, tomando como base la evaluación propuesta por Beede (2006).

Para probar si los parámetros químicos del agua variaron entre los periodos de muestreo, se realizó una prueba de *F* para varianzas de dos muestras con una $P < 0.05$, y mediante el coeficiente de correlación de Spearman se analizó la correlación del tamaño de los aguajes con los parámetros químicos del agua.

Con el mismo coeficiente se examinó si los parámetros químicos del agua influyen en la frecuencia de utilización por los borregos cimarrones, considerando que los muestreos del agua son representativos, debido a que la temperatura y precipitación no han variado en los últimos diez años en la Sierra Santa Isabel (Servicio Meteorológico Nacional [SMN], 2015). Los análisis estadísticos se efectuaron en STATISTICA versión 8.0 (StatSoft, 2005).

RESULTADOS

Utilización de los aguajes

El tiempo de operación continua de las cámaras fue de 150 días, periodo en el cual se obtuvieron 260 registros fotográficos de borregos cimarrones en los cuatro aguajes. En general, las hembras, añeros y corderos representaron el 73% ($n = 192$) de los registros, los machos clase II y III fueron los de mayor frecuencia ($n = 44$) y los corderos los de menor frecuencia ($n = 9$).

La proporción de sexos considerando todos los registros fue de macho:hembra 53:100 y de añero:hembra 40:100. En El Zamora se destacaron los registros de añeros y hembras (figura 3), los cuales en conjunto representaron el 85.8 % ($n = 103$).

La frecuencia de registros fotográficos varió significativamente entre los aguajes (*Ji cuadrada* = 33.21, $P < 0.05$). Los aguajes con mayor frecuencia de utilización fueron El Zamora con el 46.1% ($n = 120$) y El Cordero con el 25.76 % ($n = 67$). Se encontraron diferencias significativas entre las frecuencias de visita entre El Zamora y Los Hemes (*T-Student* = 0.038, $P < 0.05$), y también entre El Cordero y Los Hemes (*T-Student* = 0.008, $P < 0.05$). La FC confirmó que El Zamora fue el aguaje con mayor utilización (FC = 80), seguido por El Cordero (FC = 44) y el de menor utilización fue Los Hemes (FC = 19) (tabla 1).

Calidad del agua

Los valores de pH del agua en el muestreo de finales de lluvias estuvieron entre 6.5 y 8.5, y en el inicio de la sequía entre 6 y 7.5. No se encontraron diferencias significativas entre los dos periodos ($F = 0.15$, $P > 0.05$). Las concentraciones de cloro oscilaron entre 140 ppm y 400 ppm, y tampoco variaron significativamente entre los periodos ($F = 0.079$, $P > 0.05$). Los valores de dureza variaron significativamente entre los periodos de muestreo ($F = 0.004$, $P < 0.05$), siendo mayores las concentraciones en el periodo de sequía (tabla 2). También se encontraron diferencias significativas en los valores de calcio ($F = 0.01$, $P < 0.05$), oscilando entre 85 ppm y 200 ppm (tabla 2).



Figura 3. Grupo de borregos compuesto por cinco hembras y un macho clase III. Aguaje El Zamora, octubre de 2011, en la Sierra Santa Isabel, Baja California, México.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.
Número de individuos y estructura poblacional de borrego cimarrón registrada en los aguajes de la Sierra Santa Isabel, Baja California.

Los Aguajes	Hembras				Machos				Total	FC*
	Corderos	Añeros	HJ	HA	I	II	III	IV		
Los Hemes	0	3	2	11	0	4	7	2	29	19
El Zamora	0	34	21	48	5	4	4	4	120	80
El Volcán	4	9	4	11	6	5	2	3	44	29
El Cordero	5	6	7	26	2	8	10	3	67	44
Total	9	52	34	96	13	21	23	12	260	

HJ: hembras jóvenes; HA: hembras adultas. *Frecuencia de captura.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.
Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua en enero (valores a la izquierda de la diagonal) y en mayo (valores a la derecha de la diagonal) del 2015, en aguajes de la Sierra Santa Isabel, Baja California.

Los aguajes	pH	Cloro ¹	Oxígeno disuelto ¹	Calcio ¹	Dureza ¹	Conductividad ²	Sólidos disueltos ³
Los Hemes	7.0/7.5	400/190	7.0/6.4	60/85	100/200	2.99/3.05	1.49/3.05*
El Zamora	6.5/7.0	140/100	6.4/2.2**	64/124	88/100	1.92/0.82**	0.95/0.82**
El Volcán	8.0/7.5	160/190	1.0/1.6	60/200	95/190	4.02/2.50	2.03/2.54*
El Cordero	8.5/6.5	200/120	8.0/1.6	48/160	76/110	1.31/3.28	0.65/3.28*

¹Partes por millón (ppm). ²Micro Siemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). ³Partes por mil (ppt). * Ocasiona diarrea a bóvidos e inhibe la producción de leche en hembras.
** En buenas condiciones para ser bebida por los borregos cimarrones.
Fuente: Elaboración propia.

La conductividad del agua no varió significativamente entre los periodos ($F=0.10$, $P > 0.05$). El aguaje El Volcán tuvo el valor más alto en el muestreo a finales de lluvias ($4.02 \mu\text{S}/\text{cm}$), que coincidió con el valor más alto de sólidos disueltos totales (2.03 ppt). Los valores de oxígeno disuelto no variaron significativamente entre los periodos ($F=0.031$, $P > 0.05$) (tabla 2).

Con los análisis de correlación se encontró que únicamente los valores de sólidos disueltos totales en el periodo de sequía están correlacionados con el tamaño del aguaje ($R^2 = 0.92$, $F = 0.02$, $P < 0.05$); los valores de sólidos disueltos son menores en los aguajes de mayor superficie, por ejemplo El Zamora (907.9 m^2), y los valores más altos en aguajes de menor superficie (tabla 2). Con los coeficientes de correlación no se encontró ninguna correlación entre la frecuencia de captura (FC) de los borregos cimarrones y los parámetros de calidad del agua considerados en este estudio.

DISCUSIÓN

La estructura poblacional que se registró es congruente con lo reportado en otros estudios poblacionales de borrego cimarrón en zonas áridas (Jaeger, Wehausen

& Bleich, 1991; Sandoval *et al.*, 2014), encontrando un mayor registro de hembras y añeros, y un menor registro de machos. La proporción de macho:hembra de 53:100 que se obtuvo en esta investigación es similar a lo reportado en otras sierras de la península de Baja California (Lee, 2003; Martínez, 2011), donde proporciones añero: hembra de 40:100 es un indicador de una población en incremento.

Los machos clase III y IV posiblemente fueron contados más de una vez, debido a que son capaces de desplazarse a distancias mayores de 30 km (Valdez & Krausman, 1999). En este estudio, la distancia entre los aguajes más distantes, Los Hemes y El Volcán, es de 27 km; por lo tanto, es factible que los machos adultos visiten cualquiera de los cuatro aguajes. El escaso registro de corderos ($n = 9$) se debe a que en el periodo de sequía no son comunes los nacimientos (Rubin, Boyce & Bleich, 2000).

La estructura de grupo con mayor frecuencia de utilización de los aguajes fue de un borrego cimarrón, similar a lo reportado por Tarango (2000) en su investigación del uso del hábitat por esta especie en Sonora, donde mencionan que durante el periodo de sequía los

borregos se encuentran segregados formando grupos pequeños (de uno a tres individuos), como consecuencia de las altas temperaturas y la baja disponibilidad de alimento (Krausman, Sandoval & Etchberger, 1999).

Con base en la FC (registros fotográficos), el mayor registro de hembras y añeros en los aguajes El Cordero y Zamora indica que estos sitios son utilizados para la crianza y reclutamiento, lo cual contrasta con lo reportado por Broyles & Cutler (1999), quienes no encuentran un relación entre el mayor registro de hembras y añeros en los aguajes naturales y artificiales en Arizona. La principal diferencia con los aguajes en Sierra Santa Isabel es que éstos se mantienen intactos y no se han construido nuevos, lo cual posiblemente influye en el comportamiento de fidelidad por parte de los borregos cimarrones a los aguajes que conocen por generaciones (Sandoval *et al.*, 2014).

Los valores de pH entre 6.5 y 8, obtenidos en los cuatro aguajes, son semejantes a los reportados en otros aguajes en zonas áridas (Bleich *et al.*, 2006). Valores de pH menores a 5.5 indican acidez y se debe evitar que la fauna silvestre beba este tipo de agua (Peterson, 1999).

Las concentraciones de cloro consideradas óptimas son entre 0 ppm - 250 ppm (Beede, 2006). En esta investigación todos los aguajes se encontraron dentro de dicho rango y, por lo tanto, la concentración de cloro no se considera perjudicial para el borrego cimarrón. Se ha reportado que el agua con concentraciones de cloro mayores a 50 ppm limita el desarrollo de algas y bacterias que pueden ser tóxicas para la fauna silvestre (Rosenstock, Bleich, Rabe & Reggiardo, 2005).

En relación con la dureza del agua, la cual depende de las concentraciones de calcio, hierro, magnesio y elementos de aluminio, se mantuvo menor a 290 ppm en todos los aguajes; estos valores se consideran óptimos y, por lo tanto, no se esperaría ningún efecto en el borrego cimarrón (Beede, 2006). Los valores de sólidos disueltos totales y conductividad indican que sólo dos aguajes, El Zamora y El Cordero, tienen agua en condiciones óptimas para ser bebidas por el borrego cimarrón y por otras especies de fauna silvestre. Cuando los valores de sólidos disueltos son mayores a 1.5 ppt, pueden reducir la producción de leche en los bóvidos y causarles diarrea crónica (Challis, Zeinstra & Anderson, 1987). Los valores de calcio que oscilaron entre 85 ppm y 200 ppm sugieren que los cimarrones, además de beber agua, pueden consumir minerales importantes para cubrir sus requerimientos dietéticos (Krausman *et al.*, 1999).

La correlación entre el tamaño del aguaje y la cantidad de sólidos disueltos totales en el periodo de sequía sugiere que los aguajes de menor dimensión son más salinos, aunque no necesariamente, ya que se sabe que las concentraciones de calcio y magnesio pueden influir en la medición de los sólidos disueltos (Beede, 2006).

Con base en la guía de evaluación propuesta por Beede (2006), sólo uno de los aguajes, El Zamora, tiene condiciones óptimas de agua para ser bebida por los borregos, debido a que los valores de sólidos disueltos totales son menores a 1.5 ppt, indicando un bajo contenido de sales (tabla 2). En los otros tres aguajes los valores de sólidos disueltos están por encima de lo recomendado (mayor a 2.5 ppt), sin embargo, los borregos cimarrones los utilizan, lo que sugiere que esta especie está adaptada a estas condiciones del agua, y la cantidad de sólidos disueltos no es un factor relacionado con la utilización de los aguajes. Otros factores como la distancia al terreno de escape y estratos vegetales que permitan a los borregos cimarrones detectar a sus depredadores, se reportan como determinantes para que este especie utilice los aguajes (Sandoval *et al.*, 2014).

CONCLUSIONES

El aguaje más utilizado en Sierra Santa Isabel es El Zamora. El mayor registro de hembras y añeros y las condiciones óptimas de la calidad del agua confirman la importancia de los aguajes para la crianza y reclutamiento del borrego cimarrón. En los aguajes de la Sierra Santa Isabel, el agua en general tiene buenas condiciones para ser bebida por el borrego cimarrón y no es recomendable la construcción de nuevos aguajes cercanos El Zamora y El Cordero, ya que éstos son frecuentados por grupos de hembras y añeros que pueden ser susceptibles a enfermedades transmitidas por otros ungulados nativos y exóticos, que se pueden ver atraídos por un incremento en la disponibilidad de agua. Se ha observado que la competencia por el agua incrementa (Krausman & Leopold, 1986), y se incrementa también la población de su principal depredador: el puma (Rominger, Whitlaw, Weybrught, Dunn & Ballard, 2004). La calidad del agua con base en los parámetros químicos evaluados no influye en la frecuencia de utilización de los aguajes por el borrego cimarrón.

AGRADECIMIENTOS

A Luis Tarango Arámbula por sus observaciones y comentarios al manuscrito. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por la beca #205965. Al *Desert*

Bighorn Council por la beca Hansen-Wells durante el 2011. A la fundación *Jiji Foundation* por su apoyo en la compra de equipo. A la empresa No-Metálicos de Hidalgo, S.A. de C.V. A los guías Eduardo Espinoza, Rosendo Masía y Adán Guerrero, por su apoyo en campo. A los propietarios de las unidades para el manejo, conservación y aprovechamiento de la vida silvestre (UMAS) El Volcán y Santa María. A la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap) por el permiso de colecta 07585/13. A Óscar Delgado y María T. Fernández por su apoyo logístico en la compra de los reactivos químicos.

REFERENCIAS

- Beede, D. K. (2006). Evaluation of water quality and nutrition for dairy cattle. *High Plains Dairy Conference*, 1, 129-154.
- Bleich, V. C., Andrew, N. G., Martin, M. J., Mulcahy, G. P., Pauli, A. M., & Rosenstock, S. S. (2006). Quality of water available to wildlife in desert environments: comparisons among anthropogenic and natural sources. *Wildlife Society Bulletin*, 34(3), 627-632.
- Broyles, B., & Cutler, T. L. (1999). Effect of surface water on desert bighorn sheep in the Cabeza Prieta National Wildlife Refuge, southwestern Arizona. *Wildlife Society Bulletin*, 27(4), 1082-1088.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) (2002). Canadian water quality guidelines for the protection agricultural water uses. In *Canadian Environmental Quality Guidelines 2002*. CCME, Winnipeg.
- Challis, D. J., Zeinstra, J. S., & Anderson, M. J. (1987). Some effects of water quality on the performance of high yielding dairy cows in an arid climate. *The Veterinary Record*, 120(1), 12-15. doi: 10.1136/vr.120.1.12
- Cutler, T. L., & Swann, D. E. (1999). Using remote photography in wildlife ecology: a review. *Wildlife Society Bulletin*, 27(3), 571-581.
- Dolan, B. F. (2006). Water developments and desert bighorn sheep: implications for conservation. *Wildlife Society Bulletin*, 34(3), 642-646.
- Epps, C. W., McCullough, D. R., Wehausen, J. D., Bleich, V. C., & Rechel, J. L. (2004). Effects of climate change on population persistence of desert-dwelling mountain sheep in California. *Conservation Biology*, 18(1), 102-113.
- González-Abraham, C., Garcillán, P. P., & Ezcurra, E. (2010). Ecorregiones de la península de Baja California: una síntesis. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 87, 69-82.
- Jaeger, J. R., Wehausen, J. D., & Bleich, V. C. (1991). Evaluation of time-lapse photography to estimate population parameters. *Desert Bighorn Council Transactions*, 35, 5-8.
- Karanth, K. U., & Nichols, J. D. (1998). Estimation of tiger densities in India using photographic captures and recaptures. *Ecology*, 79(8), 2852-2862.
- Krausman, P. R., & Leopold, B. D. (1986). Habitat components for desert bighorn sheep in the Harquahala Mountains, Arizona. *Journal of Wildlife Management*, 50(3), 504-508.
- Krausman, P., Sandoval, A., & Etchberger, R. C. (1999). Natural history of desert bighorn sheep. En R. Valdez & Krausman, P. (Ed.), *Mountain sheep of North America* (pp. 139-191). Tucson, USA: University of Arizona Press.
- Lamotte (2015). Lamotte Company. *Dissolved Oxygen Water Quality*. Recuperado en enero del 2015 de www.lamotte.com
- Lee, R. M. (2003). A review of recent wild sheep surveys in Baja California Sur, Mexico. *Desert Bighorn Council Transactions*, 47, 40-46.
- Lee, R., Martínez, G. R., Zatarain, J., & Escobar, F. J. (2012). Observations of distribution and abundance of bighorn sheep in Baja California, Mexico. *California Fish and Game*, 98(1), 51-59.
- Longshore, K. M., Lowrey, C., & Thompson, D. B. (2009). Compensating for diminishing natural water: predicting the impacts of water development on summer habitat of desert bighorn sheep. *Journal of arid environments*, 73(3), 280-286. doi: 10.1016/j.jaridenv.2008.09.021
- Martínez, G. R. (2011). Muestreo terrestre y aéreo de la población de borrego cimarrón en Baja California. En *Estrategia estatal para la conservación y el manejo sustentable del borrego cimarrón en Baja California* (pp. 24-35). México: Secretaría de Protección a Ambiente, Gobierno de Baja California.
- Martínez, G. R., & Eaton, G. R. (2008). Estatus de la conservación del borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) en Baja California, México. En E. Lorenzo & J. Ortega (Eds.), *Avances en los estudios de los mamíferos de México II* (pp. 661-674). San Cristóbal de las Casas, Chiapas: Sociedad Mexicana de Mastozoología.
- Monson, G., & Summer, L. (1980). *The desert bighorn: Its life history, ecology and management*. Tucson, USA: University Arizona Press.
- Peterson, H. G. (1999). *Livestock and water quality. Agriculture and Agri-Food Canada*. Prairie Farm Rehabilitation. Recuperado en mayo del 2010 de http://www.agr.gc.ca/pfra/water/livestock_e.htm
- Perry, T. W., Newman, T., & Thibault, K. M. (2010). Evaluation of Methods Used to Estimate Size of a Population of Desert Bighorn Sheep (*Ovis canadensis mexicana*) in New Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 55(4), 517-524.
- Roberts, N., & Ezcurra, E. (2012). Desert Climate. En J. P. Rebman & N. C. Roberts (Eds.), *Baja California, Plant Field Guide* (pp. 1-23). San Diego: San Diego Natural History Museum.
- Rogerson, J. D., Fairbanks W. S., & Cornicelli, L. (2008). Ecology of gastropod and bighorn sheep hosts of lungworm on isolated, semi-arid mountain ranges in Utah, USA. *Journal of Wildlife Diseases*, 44(1), 28-44.
- Rominger, E. M., Whitlaw, H. A., Weybrught, D. L., Dunn, W. C., & Ballard, W. B. (2004). The influence of mountain lion predation on bighorn sheep translocations. *Journal of Wildlife Management*, 68(4), 993-999.
- Rosenstock, S. S., Bleich, V. C., Rabe, M. J., & Reggiardo, C. (2005). Water quality at wildlife water sources in the Sonoran desert, United States. *Rangeland Ecology & Management*, 58(6), 623-627.
- Rubin, E. S., Boyce, W. M., & Bleich, V. C. (2000). Reproductive strategies of desert bighorn sheep. *Journal of Mammalogy*, 81(3), 769-786.
- Sandoval, A. V., Valdez, R., & Espinoza, T. A. (2014). El borrego cimarrón en México. En R. Valdez & Ortega, J. A. (Ed.), *Ecología y manejo de fauna silvestre en México* (pp. 475-501). Texcoco, Estado de México: Colegio de Postgraduados.

- Skalski, J. R., Ryding, K. E., & Millsaugh, J. (2010). *Wildlife demography: analysis of sex, age, and count data*. EUA: Academic Press.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap) (2000). *Proyecto para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable del borrego cimarrón (Ovis canadensis) en México*. México: Semarnap.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) (2010). NOM-059-SEMARNAT-2001. 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. Vol. 6.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (2015). *Estación San Agustín, Baja California. Normales Climatológicas*. Recuperado de www.smn.cna.gob.mx
- Sultanpur, P. N., & Raley, L. (1999). Livestock drinking water quality. *Cooperative Extension Livestock service Leaflet* (pp. 4-980). USA: Colorado State University.
- Statsoft (2005). *Statistica 8.0*. Statsoft Inc. Tulsa Oklahoma. Recuperado el 7 de noviembre de 2014 de <http://www.statsoft.com/>
- Swift, P. K., Wehausen, J. D., Ernest, R. S., Singer, A. M., Pauli, H., Kinde, H., Roche, T. E., & Bleich, V. C. (2000). Desert bighorn sheep mortality due to presumptive type C botulism in California. *Journal of Wildlife Diseases*, 36(1), 184-189.
- Tarango, L. A. (2000). *Desert bighorn sheep in Mexico* (Disertación). University of Arizona: Tucson, USA.
- Whiting, J. C. Bowyer, R. T., & Flinders, J. T. (2009). Diel use of water by reintroduced Rock Mountain bighorn sheep. *West North American Naturalist*, 69(3), 407-412.
- Valdez, R. & Krausman, P. (1999). Description, distribution and abundance of mountain sheep in North America. En Valdez & Krausman (Ed.). *Mountain sheep of North America* (pp. 1-22). Tucson, USA: University of Arizona, Press.