

Cuantificación de las áreas afectadas durante la construcción de un acueducto en una zona de alta diversidad biológica en Querétaro, México; hábitat prioritario para la conservación de cactáceas y suculentas amenazadas y endémicas

Armando Bayona Celis^{1*} & Ruth Julieta Chávez Martínez²

Resumen

En 2007 se inició la construcción de la obra denominada “Acueducto II”, con la finalidad de llevar agua potable desde el cauce del río Moctezuma hasta la capital del estado de Querétaro. Esta obra, cuestionada por diversos especialistas, requirió construir instalaciones, caminos y zanjas en varios municipios queretanos, particularmente en la Sierra de El Doctor, Cadereyta. Prácticamente todas las áreas naturales que fueron destruidas por la obra se encuentran en esta sierra, en una zona de pendientes muy pronunciadas y con un considerable registro de especies endémicas y/o en peligro de extinción, principalmente cactáceas. Para valorar los efectos de la obra sobre el paisaje y la cubierta vegetal, se realizó una cuantificación sistemática de las áreas en las que el suelo fue removido y la vegetación fue eliminada, mediante la interpretación de imágenes de satélite. El total de la superficie afectada en la Sierra de El Doctor es de 295 ha, superficie tres veces mayor que la programada y aprobada por el Gobierno Federal en el documento: “Manifestación de Impacto Ambiental 22QE2006H0006” de la obra; superficie que en su mayoría se encuentra sobre el hábitat de cactáceas prioritarias para la conservación en el estado de Querétaro.

Los resultados se presentan desglosados por tramos de la construcción y tipo de vegetación que se afectó en cada área.

Palabras clave: Acueducto II, Sierra de El Doctor, Cactáceas amenazadas, endemismos.

Abstract

In 2007 the construction of Aqueduct II began, to bring water from the Moctezuma river area to the state capital city of Querétaro, Mexico. This structure, questioned by various specialists, required to build facilities, roads and ditches through several municipalities, particularly in the Sierra de El Doctor, Cadereyta. Virtually all natural areas that were destroyed by the construction are there, in extremely steep and fragile zones, containing a considerable registry of endemic and/or endangered species, particularly cacti. To quantify the damage, a survey was made of all the areas where soil and vegetation were removed during the aforementioned construction by satellite

¹ Centro Queretano de Recursos Naturales, CONCYTEQ. Parque Tecnológico Querétaro, S.N., Sanfandila, Pedro Escobedo, Oro. C.P. 76600. México.

² Independiente. Morelos No. 3, Cadereyta de Montes, Oro. C.P. 76500, México.

*Autor de correspondencia: abayona@concyteq.edu.mx

image interpretation. The affected surface in El Doctor covers 295 ha, an area three times larger than the one specified and approved by the Federal Government, in the environmental impact statement of the aqueduct, "Manifestación de Impacto Ambiental 22QE2006H0006", most of it over the habitat of species for conservation priority in the State of Querétaro.

The results are broken down by sections of the structure, and type of vegetation affected in each area.

Key words: Aqueduct II, El Doctor Range, endangered cacti, endemisms.

Introducción

La sierra o macizo de El Doctor (coordenadas extremas: longitud de 99° 31'25" a 99° 42' Oeste; latitud de 20° 44'10" a 20° 56'31" Norte) es una unidad paisajística que destaca claramente de su entorno en el estado de Querétaro, México; tiene algo más de 20 Km de largo en su eje mayor NO-SE, cerca de 10 de ancho, una superficie de casi 19,000 ha y más de 3200 m de altitud. Se encuentra en su totalidad en el municipio de Cadereyta de Montes, dentro de los límites de una región natural que tradicionalmente se ha llamado Semidesierto Queretano (Fig. 1).

La cumbre de esta sierra está formada por un afloramiento de calizas de la formación de El Doctor, originadas en el Cretácico inferior (Carrillo-Martínez 1981), con estratos masivos que alcanzan unos 600 m de espesor, y que sobreyacen a rocas más recientes, calizas-lutitas de la formación Soyatal. La cumbre de la sierra tiene un relieve kárstico con pendientes suaves, mientras que las laderas en muchas áreas, especialmente en los frentes noreste y oriente, son muy abruptas, frecuentemente verticales, y que siguen el lineamiento de una falla.

Bajo el macizo hacia el este, corre el río Moctezuma, allí las laderas de caliza-lutita han sido intensamente esculpidas por la erosión natural de tipo hídrico, de modo que también se observan pendientes muy fuertes y numerosos cortes casi verticales en los que afloran tanto los estratos muy plegados de

estas rocas, como antiguos depósitos fluviales en los que se pueden encontrar desde cantos de caliza de más de un metro de diámetro hasta material fino derivado de las lutitas.

El macizo de El Doctor se ha estudiado extensivamente desde el punto de vista geológico, tanto por su interés científico como económico, ya que se trata de una zona de explotación de minerales metálicos y no metálicos, así como de bancos de mármol de gran calidad.

Biológicamente la zona presenta una notable variedad de ecosistemas que van desde el bosque de coníferas hasta el bosque tropical caducifolio, pasando por varios tipos de matorrales en los que es notable la presencia de endemismos vegetales de distribución regional y local (Rzedowski *et al.* 2012; Sánchez *et al.* 2006a), algunos de ellos referidos en la NOM-059-SEMARNAT-2010 en alguna categoría de riesgo, por ejemplo: *Mammillaria herrerae* (Foto1), *Astrophytum ornatum* (Foto2) y *Strombocactus disciformis* (Foto 3), además de ser el hábitat de la especie recientemente descrita *Strombocactus corregidorae* (Arias & Sánchez-Martínez 2010) (Foto 4).

La relación de endemismos y especies amenazadas que habitan en esta zona se detalla en el Cuadro 1.

En gran medida estos ecosistemas se encuentran sobre zonas sumamente frágiles, con pendientes muy pronunciadas y sobre rocas con erosión natural considerable. Foto 5.

Desde los puntos de vista arqueológico y antropológico, esta zona también es de

gran importancia por albergar la localidad de uno de los hallazgos más importantes para el análisis del antiguo poblamiento del centro de México, una momia de 2300 años de antigüedad (Mejía *et al.* 2009).

En este mismo territorio, en el año 2007 se inició la construcción de la obra llamada “Acueducto II”, una obra para conducir el agua desde el manantial El Infiernillo (sobre el cauce del río Moctezuma), hasta la zona conurbada de la capital de Querétaro, obra que fue ampliamente cuestionada por diversos especialistas del estado que apuntaron que el manantial de donde se tomaría el agua no tiene un gasto suficiente (La Jornada 18/junio/2007; Diario Rotativo 5/octubre/2009), más otro estudio que plantea la posibilidad de que el agua que se llevaría a la ciudad de Querétaro contiene filtraciones de la presa Zimapán, es decir, aguas residuales de la ciudad de México (Cortés *et al.* 2008).

No obstante, la obra “Acueducto II” se llevó a cabo y se inauguró en febrero de 2011 y para su desarrollo se requirió de la construcción de diversas instalaciones, además de caminos y zanjas para tubería distribuidos por varios municipios del estado, pero particularmente sobre las laderas noreste y sur de la Sierra de El Doctor, lo que tuvo como consecuencia que prácticamente todas las áreas con vegetación natural que fueron destruidas o alteradas por la obra se localicen en esta sierra.

De acuerdo con el documento de Manifestación de Impacto Ambiental 22QE2006H0006 (MIA) que para este proyecto aprobó el Gobierno Federal (CEA 2006), la zona donde se llevaría a cabo la obra no tiene potencial turístico y el impacto visual provocado por la misma sería mínimo.

Con la finalidad de evaluar el impacto de la construcción de caminos y líneas de con-

ducción por la obra “Acueducto II”, sobre un hábitat de endemismos vegetales y cactáceas amenazadas, se conduce el presente análisis, enfocado principalmente sobre dos aspectos de importancia para la conservación: a) áreas con vegetación natural destruida o alterada y b) impacto visual sobre el paisaje de un hábitat de cactáceas y endemismos.

Materiales y métodos

Para cuantificar el área alterada por la construcción de la obra se usó una imagen de satélite SPOT 5 multispectral (XS) de febrero de 2010, con 4 bandas y 10 m de resolución sobre el terreno. Esta imagen georreferenciada se instaló en un SIG (Arcview 3.x) y se hizo una combinación de bandas en RGB que realzara lo más posible las respuestas altas de la roca o del suelo desnudo (IR 2, IR 1 y rojo). Este insumo se integró con diversos temas de la cartografía del INEGI 1:50,000 (INEGI 1997 y 1998) y el XII Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI 2011a), lo que sirvió para interpretar visualmente las áreas alteradas por el camino y el entierro de la tubería.

En algunas áreas fue posible observar y corroborar la interpretación a mayor resolución en imágenes de 2009 en Google Earth y de 2006 en ortofotografías obtenidas por la Dirección de Catastro del Gobierno del Estado de Querétaro, tanto de los tramos del camino ya existentes en esos años, como del estado de diversas áreas antes de la intervención. Se efectuaron también visitas de campo en toda la extensión del acueducto en el área de la Sierra de El Doctor (excepto al interior del túnel de conducción que corre bajo las rocas de la Sierra), desde la carretera federal 120 y hasta la presa de captación en El Infiernillo para documentar mediante lecturas GPS y fotografías lo interpretado. Fig 2

Para el análisis y la cuantificación de afectaciones se efectuaron algunas corridas de prueba



FIGURA 1. Localización de la Sierra de El Doctor en el estado de Querétaro y trazo del acueducto (en color blanco) construido para llevar agua desde el Cañón del Río Moctezuma hasta la ciudad de Querétaro.

para clasificación automática (supervisadas y no supervisadas), así como un proceso de vectorización de límites sobre bandas individuales o reales y el índice normalizado de vegetación (NDVI) (Lillesand & Kiefer 2000); sin embargo, en todas las pruebas se produjeron confusiones significativas por causa de las sombras y las

respuestas de los diferentes tipos de roca, lo que habría requerido de importantes correcciones interpretativas.

Por lo tanto fue el método de interpretación visual (fotointerpretación) el seleccionado para el análisis, debido a que el contraste entre las áreas intervenidas y su entorno es muy notable.

Ruth Chávez.



FOTO 1. *Mammillaria herrerae* cultivada por habitantes de la comunidad El Arbolito, Cadereyta, Qro. Comunidad cercana a la obra "Acueducto II" y una de las localidades más conocidas de esta especie.

Ricardo Ortiz.



FOTO 2. *Astrophytum ornatum* ubicado en el área de las obras de construcción del acueducto.

Ruth Chávez.



FOTO 3. *Strombocactus disciformis* en las paredes del cañón del Río Moctezuma, Cadereyta, Qro.

CUADRO 1 Lista de especies presentes en la zona afectada por la obra "Acueducto II", con su rango de endemismo y su estatus de conservación IUCN y NOM-059-SEMARNAT 2010. Referencias: Arias & Sánchez-Martínez (2010)¹, Guzmán *et al.* (2003)², Hernández & Bárcenas (1995; 1996)³, Hernández-Magaña *et al.* (2012)⁴, Hernández-Oria *et al.* (2007)⁵, Ortega (2004)⁶, Rzedowski *et al.* (2012)⁷, Sánchez *et al.* (2006a)⁸ y Scheinvar (2004)⁹.

Taxa	NOM-059	IUCN	Endemismo (referencia)
Asparagaceae			
<i>Dasyllirion acrotrichum</i> (Schiede) Zucc.	A		Desierto Chihuahuense (4)
<i>Dasyllirion longissimum</i> Lem.	A		Desierto Chihuahuense (4)
Asteraceae			
<i>Perymenium moctezumae</i> Rzed. & Calderón			Río Moctezuma (7)
Lentibulariaceae			
<i>Pinguicola elizabethiae</i> Zamudio			Río Moctezuma (7)
<i>Pinguicola moctezumae</i> Zamudio & R.Z. Ortega			Río Moctezuma (7)
Cactaceae			
<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i> (Lem.) K. Schum.	Pr	NT	Desierto Chihuahuense (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Astrophytum ornatum</i> (DC.) F. A. C. Weber ex Britton & Rose	A		Zona Árida Queretano-Hidalguense extendida hacia Guanajuato y San Luis Potosí. (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Echinocactus grusonii</i> Hildm.	P	CR	Zona Árida Queretano-Hidalguense Cañón del Infiernillo (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Echinocactus platyacanthus</i> Link & Otto	Pr		Desierto Chihuahuense y Puebla-Oaxaca (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Echinocereus schmollii</i> (Weing.) N. P. Taylor	P		Semidesierto Queretano (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Ferocactus histrix</i> (DC.) G. E. Linds.	Pr		Centro de México, Durango y Zacatecas (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Lophophora diffusa</i> (Croizat) Bravo	A	V	Zona Árida Queretano-Hidalguense (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Mammillaria hahniana</i> Werderm.	A		Zona Árida Queretano-Hidalguense extendida hacia Guanajuato y San Luis Potosí. (2, 3, 6, 9)
<i>Mammillaria herrerae</i> Werderm.	P	CR	Semidesierto Queretano (2, 3, 4, 5, 6, 9)

<i>Mammillaria longimamma</i> DC.	A		Zona Árida Queretano-Hidalguense extendida hacia Guanajuato y San Luis Potosí. (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Mammillaria crinita</i> subsp. <i>scheinvariana</i> (Ortega-Varela & Glass) Fitz Maurice & B. Fitz Maurice			Cañón del Infiernillo (2, 6, 9)
<i>Mammillaria schiedeana</i> C. Ehrenb.	A		Tamaulipas y Zona Árida Queretano-Hidalguense extendida hacia Guanajuato y San Luis Potosí. (2, 3, 4, 6)
<i>Neobuxbaumia polylopha</i> (DC.) Backeb.			Zona Árida Queretano-Hidalguense extendida hacia Guanajuato y San Luis Potosí. (2, 6, 9)
<i>Stenocactus sulphureus</i> (A. Dietr.) Bravo	Pr		Zona Árida Queretano-Hidalguense (2, 4, 6, 8)
<i>Strombocactus corregidorae</i> S. Arias & E. Sánchez-Martínez			Río Moctezuma (1)
<i>Strombocactus disciformis</i> (DC.) Britton & Rose	A		Zona Árida Queretano-Hidalguense y Guanajuato (2, 3, 4, 5, 8, 9)
<i>Thelocactus hastifer</i> (Werderm. & Boed.) F. M. Knuth	A	VU	Zona Árida Queretano-Hidalguense (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9)
<i>Turbincarpus pseudomacrochele</i> (Backeb.) Buxb. & Backeb. subsp. <i>pseudomacrochele</i>	P	VU	Zona Árida Queretano-Hidalguense (2, 3, 4, 5, 8)
<i>Turbincarpus pseudomacrochele</i> subsp. <i>lausseri</i> (L. Diers & Gerhart Frank) Glass			Zona Árida Queretano-Hidalguense (2, 9)

Una vez contabilizada la superficie afectada sobre el plano de las imágenes (**superficie plana**), estas áreas se proyectaron sobre el modelo digital de elevación (INEGI 2011b), para calcular la **superficie real** de la afectación sobre las laderas, considerando pendiente y profundidad.

Resultados

Con la finalidad de medir las afectaciones reales causadas a los ecosistemas en la Sierra de El Doctor, y para este análisis en particu-

lar, el trazo de la obra en esta zona se dividió en tres tramos geográficos (Fig. 2), puesto que en la MIA no existe un desglose definido de las áreas que resultarían afectadas por la obra, sino una agregación de ellas según el uso al que se destinaron, por ejemplo: obras de conducción, caminos de acceso, líneas de transmisión eléctrica y bancos de materiales.

Los tramos en los que se explican los resultados del presente análisis son:

Intervenciones para pavimentar el camino de la comunidad de El Doctor a Maconí.



FIGURA 2. Áreas afectadas por la construcción de caminos y la instalación de tuberías para el “Acueducto II” sobre la sierra de El Doctor. Las áreas de afectación se aprecian como líneas de color rosa: Tramo 1, entre la comunidad de El Doctor y Maconí; Tramo 2, de Maconí hacia la presa de captación y el túnel; Tramo 3, del túnel a la carretera 120. La flecha negra señala el área que se muestra en la foto 6.

Ruth Chávez.



FOTO 4. *Strombocactus correjidorae* en áreas adyacentes a las de remoción de suelo causada por la construcción del “Acueducto II” de Querétaro.

Ruth Chávez.



FOTO 5. *Echinocactus platyacanthus* en áreas de pendiente pronunciada, en la confluencia del matorral rosetófilo y el matorral submontano.

Ruth Chávez.



FOTO 6. Camino hacia el túnel de la obra “Acueducto II” en la ladera oriental de la Sierra de El Doctor. Las flechas señalan los abanicos de escombros que dejaron las explosiones derivadas de su construcción.

CUADRO 2. Superficie afectada (ha) por la construcción de caminos y por la instalación de la tubería para el "Acueducto II" en la Sierra de El Doctor, según la zonificación geográfica adaptada para el presente análisis.

Tramos de camino y tubería	Superficie plana ha	Superficie real ha
1 Ampliaciones antes de Maconí	20.645	25.641
2 Maconí a la presa y el túnel	116.352	133.758
3 Túnel a carretera 120 (ladera Sur)	129.963	135.704
Total	266.96	295.103

CUADRO 3. Superficie (en hectáreas) que se afectarían por los diversos tipos de obra y por tipo de vegetación en la totalidad de la obra de "Acueducto II", según la MIA 22QE2006H0006. Para el presente estudio sólo se consideró la afectación causada por obras de conducción y caminos de acceso (en negritas).

Concepto	Permanente ha	Arbolado hc	No arbolado ha
Obras principales			
Obras de conducción (impulsión)	6.08	1.47	4.61
Obras de conducción (gravedad)	26.66	2.66	24
Obras complementarias			
Línea de transmisión eléctrica	80.73	46.09	34.64
Caminos de acceso	42.26	28.04	14.22
Bancos de material	35	35	0
Campamentos 10.29	0	5.29	5
Total conducción + caminos	75.00		

Caminos y tubería de Maconí hacia la presa de captación y hacia el túnel.

Camino y tubería desde la salida del túnel hasta la carretera 100, sobre la ladera Sur de la Sierra.

La afectación cuantificada sobre el terreno de estos tres tramos suma un total de 295 ha (Cuadro 2). En contra parte, en el

documento MIA se declaró que la afectación total por caminos y obras de conducción sería de 75 hectáreas para la obra completa (considerada desde el Infiernillo hasta la ciudad de Querétaro); por lo tanto, la **superficie real** afectada y contabilizada tan sólo en la Sierra de El Doctor representa más del 350% de lo que se declaró en el documento

de impacto ambiental. En el cuadro 3 se presentan los datos estipulados en la MIA como afectación por la totalidad de la obra.

Cabe aclarar que aunque en la MIA se menciona que habrá afectación por bancos de material y por líneas de transmisión eléctrica, los primeros no se encuentran en el área de la Sierra de El Doctor, mientras que el tendido de las líneas de transmisión eléctrica, según se observa tanto en el campo como en la imagen de satélite, no parecen tener vegetación dañada bajo ellas.

En la figura 3 se presenta el desglose de la afectación resultante por tipo de vegetación, según la carta de vegetación y uso del suelo del estado de Querétaro (CQRN 2011).

Discusión

En las zonas en las que el “Acueducto II” corre paralelo a la carretera 120 y en las zonas agrícolas de los municipios de Colón, Ezequiel Montes y El Marqués, su presencia es sólo apreciable por la vista exterior de pequeñas casetas o registros (espaciadas entre sí por unos cientos de metros).

Sin embargo, en las laderas noreste, oriente y sur de la Sierra de El Doctor (toda ella en territorio de Cadereyta), la obra ha dejado 295 hectáreas de superficie cubiertas por escombros provenientes de los materiales volados o arrastrados por la maquinaria, las cuales en varios puntos críticos forman conos de arrastre de hasta 200 m de profundidad sobre las barrancas (Foto 6). Debajo de estos abanicos quedaron sepultadas hectáreas de vegetación prácticamente inalterada, pues se trata de áreas relativamente alejadas de asentamientos humanos y que en gran medida tienen pendientes tan pronunciadas que incluso limitan la entrada del ganado.

Evidentemente el mayor impacto de esta obra ha ocurrido sobre el área que en diversos estudios florísticos y cactológicos ha sido señalada como de alta importancia o prioridad para la conservación, debido a su riqueza de endemismos, a la presencia de diversas especies vegetales en alguna categoría de la NOM-059 y porque carece de protección legal. Todo ello de acuerdo con las siguientes referencias:

Esta zona pertenece al Cuadrante Tolimán, que Hernández & Bárcenas (1995; 1996) señalaron como el segundo cuadrante con mayor número de especies de cactáceas amenazadas en el Desierto Chihuahuense (13 especies), entre las que destacan *Echinocactus grusonii* y *Thelocactus hastifer*, endémicas de esta zona.

Sánchez *et al.* (2006a), Hernández-Oria *et al.* (2007) y Hernández-Magaña *et al.* (2012) señalan que los subcuadrantes Mesa de León y Altamira del Cuadrante Tolimán (que corresponden geográficamente con la Sierra de El Doctor), son prioritarios para la conservación florística del Semidesierto Queretano por la presencia de especies microendémicas como *Mammillaria herrerae* y *Echinocactus grusonii*, además de otros endemismos regionales como *Strombocactus disciformis* y *Astrophytum ornatum*.

Rzedowski *et al.* (2012) apunta que el cañón del Río Moctezuma es el asiento de no pocos endemismos vegetales de distribución restringida del estado de Querétaro y que aún no ha sido suficientemente explorada. Entre los endemismos señalados por estos autores destacan suculentas como *Pinguicola moctezumae* y otras especies no suculentas como *Perymenium moctezumae*.

Con respecto a la afectación de las poblaciones, no se conocen estudios publicados que describan la demografía de



FOTO 7. Vista Sur de la sierra de El Doctor, desde la ruta Puerto del Salitre-Bellavista del Río, en donde se aprecia el camino al túnel del “Acueducto II” como una línea de color claro sobre la ladera.

las especies que habitan en la zona de El Doctor; sin embargo, es posible estimar que en cuanto a cactáceas, *Mammillaria herrerae* y *Strombocactus corregidora* sean las especies cuyos núcleos poblacionales hayan resultado más perjudicados con la obra, puesto que su distribución conocida hasta ahora, sólo se circunscribe a esta zona.

Con respecto a *Mammillaria herrerae*, Sánchez *et al.* (2006b), Sánchez *et al.* (2008) y Hernández-Oria *et al.* (2007) refieren que las poblaciones de esta especie se componen de entre 20 y 50 individuos, las cuales se extienden en superficies que no se pueden contar en hectáreas y que con nuevas exploraciones han documentado la existencia de cuatro poblaciones adicionales a las ya conocidas.

En el caso de *Strombocactus corregidora*, Arias & Sánchez-Martínez (2010) refieren que sólo se conocen tres localidades con poblaciones relativamente pequeñas.

Por otra parte, Sánchez *et al.* (2006a) señalan que las poblaciones de las cactáceas prioritarias para la conservación en la región que abarca a la Sierra de El Doctor (Cuadrante Tolimán), presentan tamaños poblacionales relativamente pequeños, de entre 50 y 500 individuos.

La relación de especies amenazadas y endémicas reportadas por los estudios referidos se presenta en el cuadro 1 (lista de especies, categoría NOM-059, IUCN y endemismo).

En adición a lo anterior, los paisajes de esta zona son uno más de los atributos que resultaron afectados por la obra hidráulica. Al respecto, en México no se considera la valoración del paisaje como uno de los elementos fundamentales del patrimonio natural y cultural, que ameritan protección, gestión y ordenación legal, además de que deberían ser considerados como un

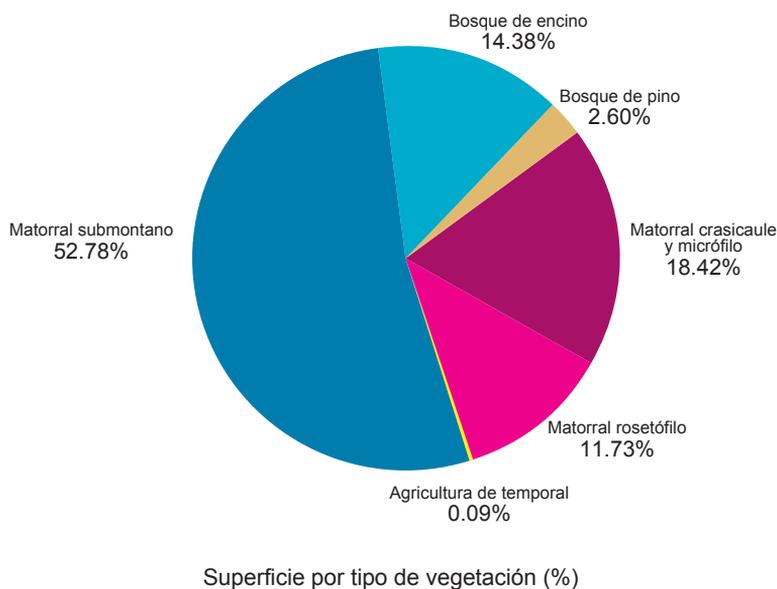


FIGURA 3. Proporción de las superficies afectadas por tipo de vegetación o uso del suelo.

derecho y una responsabilidad para todos, como ocurre en otros países del mundo, principalmente en Europa, donde existe el Convenio Europeo del Paisaje (2000).

México posee una gran riqueza de paisajes valiosos, entre ellos los de cactáceas y los de zonas áridas, que en muchos casos enfrentan diversas amenazas reales y potenciales que ponen en riesgo su diversidad y que producen lo que Zimmermann & Pérez Sandi Cuen (2010) señalan como daño estético a los paisajes únicos de cactus en México.

En este sentido, el análisis de afectación al paisaje presentado en la MIA minimiza el efecto del daño que causaría la obra en el área de la sierra pues en ella se apunta lo siguiente: “la puesta en marcha de la obra en la zona montañosa puede considerarse de bajo impacto, debido a que la topografía accidentada actúa como amortiguador del efecto del proyecto en el paisaje, además, la ausencia de vías de comunicación y la baja densidad de

población mantienen el proyecto “oculto” de potenciales observadores” (CEA 2006).

Por otra parte, no se consideró el efecto visual que la obra tendría sobre las áreas y las localidades que rodean a la Sierra de El Doctor en su entorno más visible y de mayor tránsito regional, como la ruta Puerto del Salitre- Bellavista del Río (sobre la carretera Cadereyta-Zimapán), en donde ahora el impacto visual sobre su horizonte es significativamente distinto (Foto 7).

Dados los resultados del presente análisis es evidente que las obras del “Acueducto II” no se ejecutaron de acuerdo a la Manifestación de Impacto Ambiental 22QE2006H0006 (MIA); que la MIA no fue adecuadamente supervisada y que ahora hace falta evaluar los impactos particulares causados sobre las poblaciones de las especies prioritarias para la conservación en la zona.

Con respecto a la evaluación de daños, cabe resaltar que es relativamente sencillo

y rápido evaluar las afectaciones causadas por la apertura de caminos y otras obras, mediante el empleo e interpretación de imágenes de satélite, mismas que se encuentran a disposición de los usuarios institucionales de forma gratuita en diversas instituciones gubernamentales y en Google Earth.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Ricardo Ortiz y Brenda Reséndiz por apoyar en el trabajo de campo y por proporcionar sus fotografías para este documento. Así como a la familia Ramírez Ramírez de El Arbolito, Cadereyta por permitirnos fotografías de su colección de *Mammillaria herrerae*. También agradecemos a nuestro revisor anónimo por sus enriquecedoras aportaciones y sus comentarios.

Literatura citada

- Anónimo. 2000. Convenio Europeo del Paisaje. Consejo de Europa: <http://www.coe.int/t/dg4/cultureheritage/heritage/landscape/versionsconvention/spanish.pdf>. (Consultado en febrero de 2013).
- Arias S & Sánchez-Martínez E. 2010. Una especie nueva de *Strombocactus* (Cactaceae) del río Moctezuma, Querétaro, México. *Rev Mex Biodivers* **81**:619-624.
- Carrillo-Martínez M 1981. Contribución al Estudio Geológico del Macizo Calcáreo El Doctor, Querétaro *Rev Mex Cienc Geol* **5**:25-29.
- CEA. 2006. *Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Particular 22QE2006H0006. Abastecimiento de Agua Potable Infernillo Zona Conurbada Querétaro*. Comisión Estatal de Aguas del Estado de Querétaro. México. <http://tramites.semarnat.gob.mx/index.php/consulta-tu-tramite> con la clave 22QE2006H0006 (consultada en febrero de 2013).
- Cortés A, Lozano A, Pérez J & Martínez F. 2006. *Estudio Exploratorio de las condiciones isotópicas e hidrogeoquímicas de afloramientos en la comunidad de El Arbolito, Municipio de Cadereyta, Qro.* CONCYTEQ-UNAM. México.
- CORN. 2011. Datos Vectoriales de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Escala 1:50 000 del Estado de Querétaro, Versión 2. CONCYTEQ, México.
- Diario Rotativo. 5 de octubre de 2009. Advierte G5 problema de salud por agua de Acueducto II: <http://rotativo.com.mx/queretaro/advierte-g5-de-problemas-de-salud-por-agua-de-acueducto-ii/20401/html/> (consultada en febrero de 2013).
- Guzmán U, Arias S & Dávila P. 2003. *Catálogo de cactáceas mexicanas*. UNAM, CONABIO. México, D.F.
- Hernández H M & Bárcenas R T. 1995. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: I. Distribution patterns. *Conserv Biol* **5**:1176-1188.
- Hernández H M & Bárcenas R T. 1996. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: II. Biogeography and Conservation. *Conserv Biol* **4**:1200-1209.
- Hernández-Magaña R, Hernández-Oria J & Chávez R. 2012. Datos para la conservación florística en función de la amplitud geográfica de las especies en el Semidesierto Queretano. *Acta Bot Mex* **99**:105-140
- Hernández-Oria J, Chávez R & Sánchez E. 2007. Factores de riesgo en las Cactaceae amenazadas de una región semiárida en el sur del Desierto Chihuahuense, México. *Inter ciencia* **11**:1-8.
- INEGI. 1997 y 1998 Conjuntos de datos vectoriales de las cartas topográficas escala 1:50,000, versión 4, claves F14-C57, F14-C58, F14-C67 Y F14-C68. México.
- INEGI. 2011a. Censo de Población y Vivienda 2010. Principales resultados por locali-

- dad (ITER): http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est (consultada en abril de 2011).
- INEGI. 2011b. Continuo de Elevaciones Mexicano CEM (2.0): <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoElevaciones.aspx>. (consultada en junio de 2011).
- IUCN Red List of threatened species. 2012. <http://www.iucnredlist.org/> consultada en mayo de 2013.
- La Jornada. 18 de junio de 2007. Inviabile, el proyecto Acueducto II, que abastecería a Querétaro: <http://www.jornada.unam.mx/2007/06/18/index.php?section=estados&article=036n1est> (consultada en febrero de 2013).
- Lillesand T & Kiefer R. 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons. U.S.A.
- Mejía E, Chávez X & Chávez R. 2009. *Pepita, la momia de la Sierra Gorda de Querétaro*. *Arqueología Mexicana* **99**:70-75.
- Ortega R. 2004. Rescate y caracterización ecológica de especies vegetales en estatus crítico de conservación, en el área del Proyecto Hidroeléctrico Zimapán, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México.
- Rzedowski J, Calderón de Rzedowski G & Zamudio S. 2012. Flora vascular endémica en el estado de Querétaro. *Acta Bot Mex* **99**:91-104.
- Sánchez E, Chávez R, Hernández-Oria J & Hernández M. 2006a. *Especies de Cactaceae prioritarias para la conservación en la zona árida Queretano-Hidalgense*. Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Querétaro: Oro.
- Sánchez E, Arias S, Hernández M & Chávez R. 2006b. Ficha técnica de *Mammillaria herreriae*. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. CK016. México. D.F.
- <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/ise/fichasnom/Mammillariaherreriae00.pdf>
- Sánchez E, Hernández M, Hernández-Oria J & Torres L. 2008. *Mammillaria herreriae* Werderm., en el vórtice de la extinción. *Cact Suc Mex* **53**:123-127.
- Sánchez E, Arias S, Hernández M & Maruri B. 2011. *Strombocactus corregidorae* a new species from the Moctezuma River and its vanishing hábitat. XXXII Congreso de la IOS. Cartel. http://iosweb-org.glucan5.com/2012/poster/Strombocactus_corregidorae_-_a_new_species_from_the_Montezuma_River,_Sanchez_Martinez_et_al.pdf (consultada en febrero de 2013).
- Scheinvar L. 2004. *Flora cactológica del estado de Querétaro, diversidad y riqueza*. Fondo de Cultura Económica. D.F. México.
- 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, Segunda Sección. 30 de diciembre de 2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F.
- Zimmermann H & Pérez Sandi Cuen M. 2010. La amenaza de los piojos harinosos (*Hypogeococcus pungens* e *Hypogeococcus festerianus* (Hemiptera: Pseudococcidae) a las cactáceas mexicanas y del Caribe. *Cact Suc Mex* **55**:4-17.

Recibido: febrero 2013; Aceptado: marzo 2013.

Received: February 2013; Accepted: March 2013.