



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

# POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Instituto de Biología

DETERMINACIÓN DE ÁREAS  
PRIORITARIAS PARA  
LA CONSERVACIÓN DE LAS  
CACTÁCEAS ENDÉMICAS DE LA  
REGIÓN DEL DESIERTO SONORENSE

# T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
(SISTEMÁTICA)**

P R E S E N T A

BÁRBARA CAROLINA LARRAÍN BARRIOS

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. HÉCTOR MANUEL  
HERNÁNDEZ MACÍAS**

**COMITÉ TUTOR: DR. JUAN JOSÉ MORRONE LUPI  
DR. MARK EARL OLSON ZUNICA**

MÉXICO, D.F.

NOVIEMBRE, 2011



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Dr. Isidro Ávila Martínez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
P r e s e n t e

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 26 de septiembre de 2011, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (SISTEMÁTICA)** de la alumna **LARRAÍN BARRIOS BÁRBARA CAROLINA** con número de cuenta **510450933** con la tesis titulada **"Determinación de áreas prioritarias para la conservación de las cactáceas endémicas de la Región del Desierto Sonorense"**, realizada bajo la dirección del **DR. HÉCTOR MANUEL HERNÁNDEZ MACÍAS:**

Presidente: DRA. MERCEDES ISOLDA LUNA VEGA  
Vocal: DR. JUAN JOSÉ MORRONE LUPI  
Secretario: DR. ALBERTO BÚRQUEZ MONTIJO  
Suplente: DRA. MARÍA TERESA TERRAZAS SALGADO  
Suplente: DR. MARK EARL OLSON ZUNICA

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria, D.F., a 15 de Noviembre de 2011.

*M. del Coro Arizmendi*  
**DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA**  
**COORDINADORA DEL PROGRAMA**

c.c.p. Expediente del (la) interesado (a).

## **Agradecimientos**

Al posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo brindado para mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por otorgarme la beca que permitió la realización de mis estudios de Maestría (Registro de beca 231835).

A Cactus and Succulent Society of America (CSSA) por financiar parte del trabajo de campo necesario para el desarrollo de esta tesis.

Al Dr. Héctor Manuel Hernández Macías por aceptar la dirección de esta tesis, por su apoyo constante y significativo tanto en mi formación profesional como en el desarrollo de la tesis.

Al Dr. Juan José Morrone por su apoyo permanente en mi formación y por sus valiosos comentarios y sugerencias para la tesis.

Al Dr. Mark Olson Zunica por su valiosa contribución y aportaciones a la tesis.

## **Agradecimientos a título personal**

Al Dr. Héctor Hernández Macías y al M. en C. Carlos Gómez-Hinostrosa por permitirme obtener los datos de la Colección de Cactáceas de Norte y Centroamérica del Instituto de Biología de la UNAM, y por siempre brindarme su ayuda y conocimientos acerca de las cactáceas mexicanas.

Al Dr. Albero Búrquez Montijo y a la Dra. Angelina Martínez-Yrizar por su apoyo incondicional, tanto en el ámbito profesional como personal durante mi estancia en México.

A los miembros del Jurado de Examen Dra. Isolda Luna-Vega y Dra. Teresa Terrazas Salgado por sus valiosas observaciones y sugerencias al manuscrito.

A mi familia, muy especialmente a mi madre, quienes siempre me han apoyado en todas mis decisiones y por ser fundamentales en mi vida.

A todos quienes cuya compañía, amistad y cercanía durante el desarrollo de esta Maestría, han hecho de ella un etapa muy enriquecedora en mi vida.

## Índice

Resumen	3
Abstract	5
1. Introducción	7
1. Objetivos	11
2. Material y Métodos	12
2.1. Definición de los límites de la Región del Desierto Sonorense	12
2.2. Selección y definición de las especies endémicas a la región	13
2.3. Evaluación de la distribución espacial de las especies	15
2.3.1. Riqueza	15
2.3.2. Rareza y Valor de Conservación	15
2.3.2.1. Rareza específica	15
2.3.2.2. Valor de Conservación de la celda	16
2.3.3. Complementariedad	16
2.3.4. Endemismo mediante análisis de optimalidad	17
2.4. Selección de Áreas Potenciales (AP) para conservación de las cactáceas endémicas de la RDS	18
2.5. Efectividad de las Áreas Naturales Protegidas en México	19
2.6. Complementariedad para las especies endémicas no protegidas	19
2.7. Selección y propuesta de áreas para la conservación de las cactáceas endémicas de la RDS	19
3. Resultados y Discusión	21
3.1. Especies endémicas	21
3.2. Distribución de la riqueza de especies endémicas en la RDS	22
3.3. Rareza Específica	29
3.4. Valor de conservación de las celdas	30
3.5. Análisis de optimalidad	33
3.6. Complementariedad	37
3.7. Selección de áreas potenciales para la conservación (AP)	41

3.8. Evaluación de la coincidencia espacial entre las Áreas potenciales (AP) y las Áreas Naturales Protegidas (ANP) .....	44
3.9. Evaluación de la efectividad de las Áreas Naturales Protegidas mexicanas en la conservación de las especies de cactáceas endémicas de la RDS .....	46
3.10. Análisis de complementariedad con las especies de cactáceas endémicas no protegidas de la RDS .....	46
3.11. Selección de las Áreas Prioritarias para la conservación de las cactáceas endémicas: Áreas Potenciales y celdas complementarias de las especies no protegidas .....	49
4. Conclusiones .....	58
5. Bibliografía .....	61
6. Apéndices .....	72

## Resumen

La crisis de la biodiversidad generada por la creciente intervención antropogénica en los sistemas naturales, es uno de los temas más importantes en la biología de la conservación; en ella el estudio de la extinción de especies y cómo evitarla son tópicos fundamentales. Se ha demostrado que las áreas naturales protegidas son las herramientas más efectivas para la conservación de la biodiversidad. La escasez de recursos y la urgencia de protección de muchos taxones obligan a priorizar las nuevas áreas que se proponen para conservación. Los criterios más usados en priorización han sido los que consideran la riqueza y los endemismos, y asociados a éstos destacan los conceptos de complementariedad e irremplazabilidad de áreas.

En México, la familia Cactaceae posee un alto grado de endemismo. Esta condición hace que estas especies sean particularmente vulnerables, especialmente aquellas de distribución más restringida. La Región del Desierto Sonorense (RDS) es uno de los centros de distribución más importantes de la familia. La región abarca la mitad sur de Arizona, el extremo sureste de California, gran parte de los estados de Sonora, Baja California y Baja California Sur incluyendo las islas del mar de Cortés. A pesar del carácter endémico de la familia en la región, no existe un inventario de las especies ni de la totalidad de sus endemismos. Por esta razón, el objetivo del presente trabajo fue compilar una lista de las especies endémicas de la región y proponer áreas prioritarias para su conservación.

Se identificaron 72 especies endémicas usando información proveniente de la Base de Datos de las Cactáceas de Norte y Centroamérica (Instituto de Biología-UNAM), trabajo de campo y literatura. Se evaluaron sus distribuciones espaciales en celdas de 30' de latitud por 30' de longitud. Se analizó la riqueza de las celdas, la rareza de las especies y el valor de conservación de cada celda. Además se aplicó un análisis de complementariedad para optimizar la protección de las especies en la menor superficie posible y uno de optimalidad para detectar las áreas microendémicas. Combinando los resultados parciales de cada método mediante la coincidencia espacial de las celdas, se seleccionaron ocho áreas

potenciales de conservación (denominadas Áreas Potenciales); cuatro en la Península de Baja California y cuatro en Sonora. La combinación de los resultados de los métodos aseguró que las áreas seleccionadas presenten mayor valor de conservación, altos valores de complementariedad y protección de especies microendémicas. Posteriormente se evaluó la efectividad de las Áreas Naturales Protegidas de México con respecto a la protección de las cactáceas endémicas. Se detectó que 23 especies no se encontraban bajo ninguna protección oficial. A estas especies se les aplicó un análisis de complementariedad; con 11 celdas se protegerían todas las especies de la RDS. Ocho de estas celdas coincidieron con las de las Áreas Potenciales ya definidas.

Considerando los resultados mencionados, se proponen cinco Áreas Prioritarias que en conjunto corresponden a 24,986.84 km<sup>2</sup>; tres se ubican en la península de Baja California y dos se ubican en el estado de Sonora. En conjunto, estas áreas protegerían 49 especies de cactáceas endémicas. De las 23 especies restantes, 21 sólo encuentran protección en las ANP y dos no se encuentran bajo ninguna protección. Con la propuesta elaborada, la protección total, considerando a las Áreas Prioritarias y a las Áreas Naturales Protegidas actuales, alcanza a 70 especies (97,2%) de las 72 de la región.

La protección efectiva de las especies endémicas es urgente considerando el estado de vulnerabilidad en el que se encuentran. La intervención antropogénica en el área es cada vez mayor y por lo tanto la presión sobre las especies es creciente. Este trabajo constituye una primera aproximación al conocimiento de las especies endémicas y su distribución en la región y es una base fundamental para delimitar áreas con mayor precisión dentro de las Áreas Prioritarias. El conocimiento acerca de las distribuciones de las cactáceas en la RDS es aún limitado. Exploraciones adicionales en la región y un mayor entendimiento acerca de los patrones geográficos de las especies permitirían incrementar la resolución y precisión de los resultados obtenidos en este trabajo.

## **Abstract**

The biodiversity crisis generated by the increasing human intervention on natural systems is one of the most important topics in conservation biology. In this context, the study of species extinction and how to avoid it are fundamental issues. It has been demonstrated that protected areas are the most effective tools for conserving biodiversity. The lack of financial resources and the urgency of maximizing biodiversity conservation require prioritizing conservation actions. The criteria for designing conservation areas have traditionally been species richness and endemism, and associated to these parameters are the concepts of complementarity and irreplaceability of areas.

In Mexico the family Cactaceae has a high degree of endemism. This condition makes the species particularly vulnerable, especially those with restricted distribution ranges. The Sonoran Desert Region (SDR) is an important diversity center for the Cactaceae with a remarkably high frequency of endemism. The SDR occurs in the southern half of Arizona and the southeastern extreme of California, USA, and includes most of Sonora and the Peninsula of Baja California, Mexico, including the islands of the Sea of Cortez. Despite the family's endemic character, unfortunately, there is not a comprehensive account of the cactus species occurring in the whole region, nor a checklist for the endemic species. The main goal of this study is to compile a list of endemic species for the region and develop a proposal for their conservation.

Seventy two endemic species were identified using information from the Database of Cactus Collections from Mexico and Central America, fieldwork and literature. We evaluated the spatial patterns of the species using 30 minutes latitude by 30 minutes longitude grids. We analyzed richness, rarity, degree of endemism and conservation value. In addition, a complementarity analysis was performed to optimize the protection of species in a minimum area. Combining the results of each method through the spatial coincidence of the cells, we selected eight potential conservation areas (called Potential Areas), four in the Peninsula of Baja California and four in Sonora. This method, combining the results, ensures

that the selected areas had the greatest conservation value, high values of complementarity, richness and protection of microendemic species. Also we evaluated the effectiveness of the protected area network in Mexico on the protection of the endemic cacti. We found that 23 species were not under any official protection. The complementary analysis performed for the unprotected species revealed that 11 cells are able to protect all of them. Eight of these cells coincided with the Potential Areas already identified. Considering the above results, we propose here a total of five priority areas.

Of the five priority areas, which together cover an extension of 24,986.84 km<sup>2</sup>, three are located in the Peninsula of Baja California and two in Sonora. Together, these areas protect 49 species. Of the 23 remaining species, only 21 find protection in the ANP and two are totally unprotected. With the proposal developed in this work, total protection, considering the priority areas and the current ANP, amounts to 70 species (97.2%) of 72 in the region.

The effective protection of endemic species is urgent considering their vulnerability. Anthropogenic intervention in the area is increasing and so the pressure on the species. This work constitutes a first approach to the understanding of endemic species and their distribution in the region, and is a basic foundation for the delimitation of more specific areas. The geographic knowledge of the Cactaceae in the SDR is still limited. Additional exploration and a better understanding of the geographical patterns of the species would allow an increasing resolution and accuracy of our results.

## 1. Introducción

En la biología actual, la preocupación por los cambios causados por la acción humana en los sistemas naturales generó un tema fundamental de investigación: la biología de la conservación (Simberloff, 1988). Dentro de esta nueva disciplina, el entendimiento de los agentes causales, la documentación de la pérdida de la biodiversidad y como evitarla son temas primordiales (Hunter y Gibbs, 2006; Pimm y Jenkins, 2010; Primack, 2006). La reducción del hábitat por fragmentación, contaminación, urbanización, introducción de especies exóticas y sobreexplotación de los recursos naturales, entre otros fenómenos, desencadenan la pérdida de biodiversidad y sus consecuencias afectan directamente el desarrollo de las sociedades humanas (Dickman *et al.*, 2007; Primack, 2006; Sisk *et al.*, 1994; Sodhi y Ehrlich, 2010; Wilson *et al.*, 2005). Bajo este escenario, la protección de los sistemas naturales resulta prioritaria en un contexto de desarrollo sustentable (Primack, 2006).

Se ha establecido que las áreas naturales protegidas (ANP) son los instrumentos más efectivos para la conservación (Chape *et al.*, 2005; Convenio sobre la Diversidad Biológica, 1992; Eken *et al.*, 2004; Gómez-Pompa y Dirzo, 1995; Kerr, 1997; Lawler *et al.*, 2003; Pressey *et al.*, 1993; Primack, 2006; Rodrigues y Gaston, 2001; Figueroa y Sánchez-Cordero, 2008; Sodhi y Ehrlich, 2010). Bajo una adecuada planificación, las ANP permiten asegurar la representatividad de la biodiversidad y la persistencia de los organismos que allí se encuentran (Brooks, 2010; Gorenflo y Brandon, 2006; Lawler *et al.*, 2003; Margules y Pressey, 2000).

No obstante, los criterios para la selección de áreas son un tema debatido. Históricamente, la mayoría de las áreas de protección han sido designadas principalmente desde un punto de vista urbano o político en donde los criterios de selección respondían más bien al valor histórico, estético o turístico de las áreas (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2007; Cantú *et al.*, 2004; Gómez-Pompa y Dirzo, 1994; Prado *et al.*, 2010; Pressey *et al.*, 1993). Los criterios biológicos o ecológicos como la diversidad, los endemismos o los servicios ecosistémicos son más bien recientes (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2007; Claus *et al.*, 2010; Gómez-

Pompa y Dirzo, 1994; Warren *et al.*, 2006). Dado que los objetivos de la conservación pueden ser diversos y al mismo tiempo los recursos para su manejo son habitualmente escasos, se propone que el diseño de nuevas áreas de conservación debe ser priorizado usando criterios biológicos o ecológicos (Brooks *et al.*, 2006; Mace *et al.*, 2007; Margules y Pressey, 2000; Pressey *et al.*, 1993).

Para la selección de áreas existen diversos indicadores (Pressey *et al.*, 1993; Mace *et al.*, 2007; Prado *et al.*, 2010; Vane-Wright *et al.*, 1991). Entre los más utilizados para proponer objetivos de conservación se encuentran la riqueza de especies, las restricciones geográficas de las mismas (rareza, endemismo) y asociado a éstos, los principios de complementariedad e irremplazabilidad de las áreas (Brooks, 2006; Eken *et al.*, 2004; Gaston, 1994; Kerr, 1997; Lawler *et al.*, 2003; Margules y Usher, 1981; Pressey, 1999; Pressey *et al.*, 1994; Pressey y Taffs, 2001; Wilson *et al.*, 2006). La complementariedad tiene que ver con la selección de áreas que maximizan la biodiversidad en ellas de forma complementaria en un área mínima (concepto de eficiencia en la selección), en tanto que el segundo concepto es una medida de la importancia de un área para alcanzar un objetivo explícito de conservación (Lawler *et al.*, 2003; Pressey, 1999; Pressey *et al.*, 1993). Tanto el uso de la riqueza, rareza, irremplazabilidad y complementariedad como criterios de selección de ANP tienen el objetivo de evitar la extinción de los taxones que se establecen como objetivo de conservación. De esta forma, las áreas con taxones muy raros geográficamente o endémicos son más vulnerables que los otros y por lo tanto, aumentan su riesgo a la extinción (Dickman *et al.*, 2007; Gaston, 1994, Kerr 1997; Sisk *et al.*, 1994). Por otra parte, las áreas que presentan una gran riqueza o bien un alto número de especies endémicas, son irremplazables en la naturaleza y por lo tanto son una prioridad en la conservación (Brooks, 2010; Lawler *et al.*, 2003; Myers *et al.*, 2000; Pressey *et al.*, 1993). Sin embargo, no todas las áreas que presentan estas características se encuentran protegidas dentro de las ANP actuales (Gorenflo y Brandon, 2006; Pressey *et al.*, 1993). Por ello resulta urgente establecer cuales son las áreas que contienen a los taxones más vulnerables.

En este contexto, la conservación del patrimonio natural que contiene a los grupos vulnerables debe tomar un curso importante dentro del quehacer nacional y se debe preservar y proteger la biodiversidad (DOF, 2008; Gómez-Pompa y Dirzo, 1994). En México, si bien existen muchas ANP, en algunos casos, éstas son parcialmente efectivas ya que muchas obedecen a propósitos múltiples que no tienen relación con la protección del acervo biológico. Por otro lado, su efectividad se ve reducida en términos prácticos ya que comúnmente no cuentan con los recursos económicos apropiados para su manejo (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2007; Gómez-Pompa y Dirzo, 1994; Riemann y Ezcurra, 2005).

La familia Cactaceae es uno de los grupos de organismos mexicanos que se circunscribe a la problemática de la conservación del patrimonio biológico de México. De las 1500 especies conocidas a nivel mundial, alrededor de 550 se encuentran en México (Hernández y Bárcenas, 1996; Hernández *et al.*, 2004; Hunt, 2006) y de ellas, el 78% son endémicas del país (Goettsch y Hernández, 2000; Gómez-Hinostrosa y Hernández, 2000). El estado actual de la familia adquiere características de preocupación global; se considera como uno de los grupos más amenazados del reino vegetal (Hernández y Godínez, 1994) y se incluye casi en su totalidad en el Apéndice II de CITES (Hunt, 1999). A nivel nacional, más de 275 especies presentarían algún grado de amenaza según las clasificaciones oficiales (SEMARNAT, 2010). Su delicada situación en México es atribuida, principalmente, a la pérdida de hábitat o la extracción ilegal para su comercio (Hernández, 2006). Entre sus principales centros de distribución se encuentran los Desiertos Chihuahuense y Sonorense y el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, regiones que poseen gran diversidad de especies con muy restringidos endemismos (Gómez-Hinostrosa y Hernández, 2000; Hernández *et al.*, 2004; Hernández, 2006).

La Región del Desierto Sonorense (en adelante RDS), a pesar de constituirse como uno de los centros de distribución de la familia y de ser uno de los desiertos más importantes a nivel mundial por su diversidad (Rzedowski, 1991; Riemann y Ezcurra, 2005), no cuenta con un inventario total de las especies de la familia Cactaceae, sólo se menciona que éstas presentan un elevado número de taxones

y endemismos (Hernández *et al.*, 2004; Hernández, 2006; Prado *et al.*, 2010). La Región contempla la mitad sur de Arizona y el extremo sureste de California en Estados Unidos de América e incluye en México, donde presenta su mayor extensión, los estados de Sonora (en su mayor parte), Baja California y Baja California Sur incluyendo las islas del mar de Cortés (Hernández, 2006; Shreve y Wiggins, 1964; Turner *et al.*, 1995).

Durante las últimas décadas, la RDS ha estado sometida a múltiples presiones ambientales que tienen efectos negativos sobre la biodiversidad (Búrquez y Martínez-Yrizar, 1997, 2000, 2007; Stoleson *et al.*, 2005), especialmente sobre las especies endémicas. Al ser una zona árida con baja cobertura de vegetación y escasez de agua (Shreve y Wiggings, 1964; Rzdowski, 2006), actividades como la expansión de la frontera agrícola y el ganado, el turismo, la introducción de especies exóticas y la corta de especies maderables, son especialmente dañinas y afectan directamente a la biodiversidad del área, ya sea por la destrucción de hábitat o bien por el consumo de recursos naturales escasos (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2007; Ezcurra *et al.*, 2002; Riemann y Ezcurra, 2005). Esta situación, sumada a los largos ciclos de vida, bajas tasas de crecimiento y a las distribuciones geográficas restringidas de los endemismos en las cactáceas hacen que su conservación adquiera un carácter urgente (Hernández y Godínez, 1994; Ortega-Baes y Godínez-Álvarez, 2005). Para asegurar su protección, es necesaria la creación de áreas protegidas adecuadas para este grupo en la RDS que se basen principalmente en criterios biológicos que permitan determinar prioridades de conservación.

Este proyecto plantea generar una selección de áreas prioritarias para la conservación de las cactáceas endémicas de la RDS. Esto se llevó a cabo estableciendo, en un primer análisis, cuales son las especies de cactáceas endémicas a la RDS, analizando luego su distribución y posteriormente detectando y seleccionando aquellas áreas que deben tener prioridad tanto por la riqueza de las especies seleccionadas, así como por las restricciones en su distribución y su ausencia en las actuales Áreas Naturales Protegidas de México.

## 1. Objetivos

### General

Proponer áreas prioritarias de conservación en el Desierto Sonorense usando como modelo las especies endémicas de cactáceas de la región (RDS).

### Específicos

- Identificar las especies de cactáceas endémicas a la RDS.
- Analizar los patrones de distribución de las especies endémicas mediante análisis de riqueza, rareza, optimalidad y complementariedad.
- Proponer alternativas de conservación usando todos los análisis mencionados en el punto anterior de forma complementaria.
- Evaluar la efectividad de las áreas naturales protegidas de la RDS en la conservación de las especies de cactáceas endémicas.
- Proponer alternativas en favor de la conservación de las especies y de su hábitat.

## 2. Material y Métodos

Para explicar claramente el método empleado, se ha establecido una ruta crítica que define la secuencia en la que se seleccionaron las áreas prioritarias. En la Figura 1 se muestra el diagrama que describe la ruta.

### 2.1. Definición de los límites de la Región del Desierto Sonorense

La RDS presenta diferentes versiones respecto a sus límites (Brown, 1982; Shreve, 1951; Shreve y Wiggins, 1964; Turner *et al.*, 1995). En este estudio se redefinió el área usando como base la configuración propuesta por Shreve y Wiggins (1964) agregando, en la parte continental sur, el área de bosque espinoso ubicado al sur de Sonora y las planicies costeras del norte de Sinaloa (Shreve, 1951; Rzedowski, 1978). Esta superficie representa una zona de transición ecológica que incluye elementos florísticos conspicuos y propios del matorral espinoso del piedemonte y del matorral espinoso costero (Búrquez *et al.*, 1999; Búrquez y Martínez-Yrizar, 2010). En la península de Baja California, el área se redefinió descartando aquellas zonas sobre los 900 metros sobre el nivel del mar, ya que es aquí donde la composición florística comienza a diferenciarse claramente de la típica de la RDS (Shreve y Wiggins, 1964; Rzedowski, 1978).

Partiendo del argumento de que los límites estrictos en la naturaleza son más bien un arreglo para su comprensión y estudio, en esta investigación se agregó una zona de amortiguamiento de 25 km a partir del borde del polígono definido como RDS; en este sentido, la ampliación de la zona es más bien un artefacto que permite incluir especies endémicas conspicuas de la RDS que, de ajustarse estrictamente a la definición dada por Shreve y Wiggins (1964), no se habrían incluido en los análisis. Descripciones detalladas de la flora, la vegetación y ecología de la RDS se presentan en la obras *Flora and Vegetation of the Sonoran Desert Region* (Shreve y Wiggins, 1964) y en *Sonoran Desert Region: an ecological atlas* (Turner *et al.*, 1995). El área aquí definida como Región del Desierto Sonorense presenta aproximadamente 385,000 km<sup>2</sup>.

## 2.2. Selección y definición de las especies endémicas a la región

Se utilizó como información núcleo la Base de Datos de las colecciones de Cactáceas de Norte y Centro América (Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2011). La base de datos es una recopilación de datos de especímenes de la familia Cactaceae de 68 herbarios de México y otros países.

A todos aquellos registros sin coordenada geográfica que contaban con una descripción clara y suficiente del lugar de colecta del espécimen, se les asignó la coordenada siguiendo la metodología de punto (Wieczorec, 2001). Con esta información se preseleccionó, mediante el uso de literatura especializada (Anderson, 2001; Arias y Terrazas, 2006; Bárcenas, 2004; Benson, 1982; Blum *et al.*, 1998; Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991a, 1991b, 1991c; Burkhart, 2004; Dicht y Lüthy, 2005; Frank *et al.*, 2001; Hunt, 2006; Lindsay, 1996; Paredes *et al.*, 2000; Pilbeam, 1999, 2005; Taylor, 1985; Turner *et al.*, 1995), aquellas especies potencialmente endémicas a la región. Para la nomenclatura de los nombres científicos se siguió a Hunt (2006).

De forma complementaria se realizó trabajo de campo que se llevó a cabo durante los días 21 de marzo al 10 de abril del 2010, en el cual se realizaron 262 colecciones botánicas con el permiso de colecta del Dr. Héctor M. Hernández. Los ejemplares colectados se incorporaron al Herbario Nacional de México (MEXU). De las 262 colectas, 98 correspondieron a especies endémicas de la RDS por lo que se incorporaron a la base de datos de cactáceas endémicas de la RDS, base de datos con la que se realizaron todos los análisis de la investigación.

Se consideraron como endémicas de la región aquellas especies donde al menos el 75% de sus registros se encontraron dentro de los límites de la RDS. Como ejemplo, *Myrtillocactus cochal* no se consideró una especie endémica de la región. Ésta se registra desde Ensenada hasta Comondú (Anderson, 2004; Hunt, 2006) y si bien es una especie típica de la península, no es endémica de la región ya que el 37.5 % de sus registros (21 de 56) se encuentran fuera de la RDS. Por el contrario, *Stenocereus gummosus* posee 99 registros en la base de datos y de ellos, 8 (8.08%) se encuentran fuera de la RDS por lo que sí es considerada como endémica de la región.

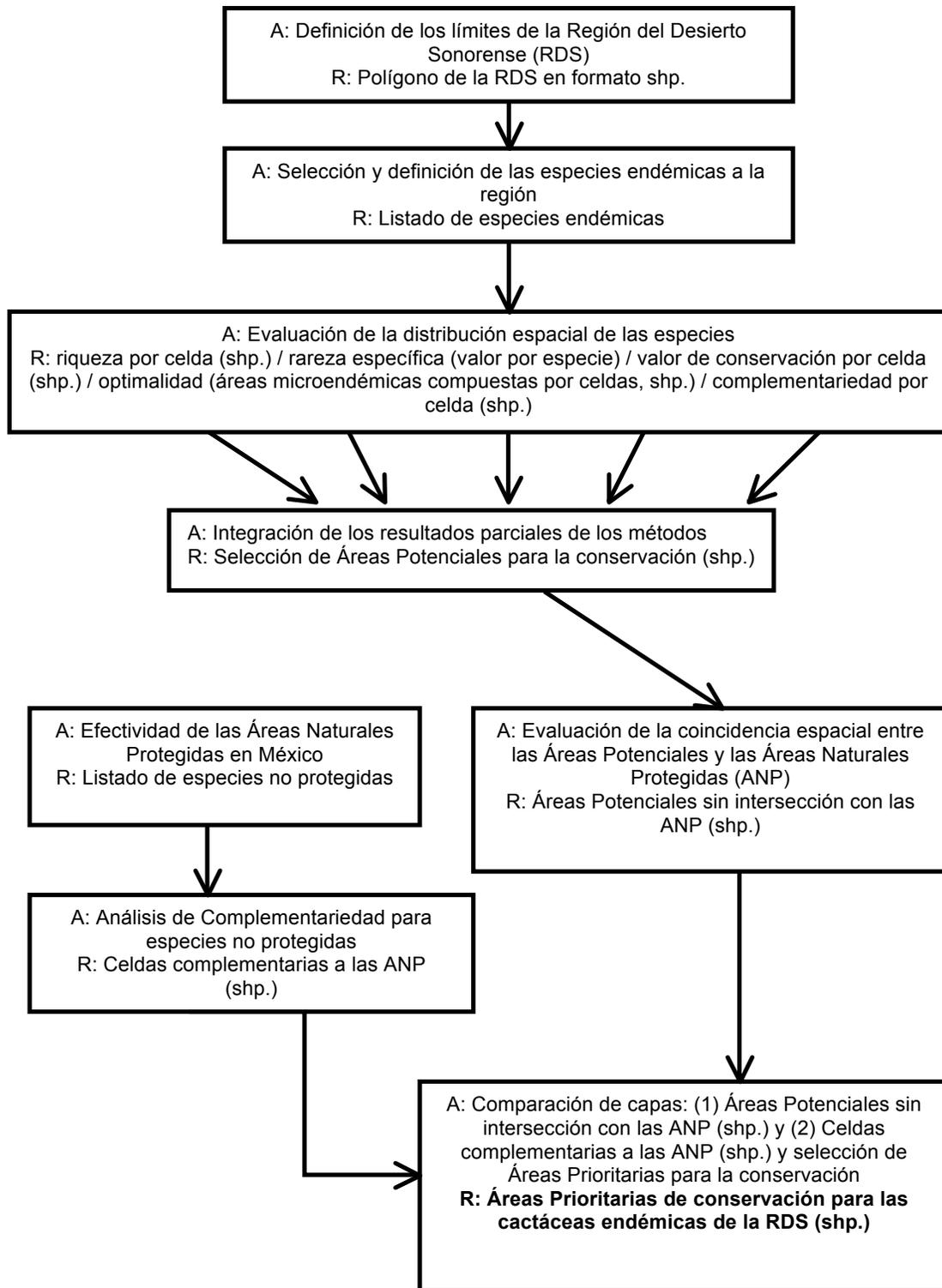


Figura 1: Diagrama de la ruta crítica seguida para seleccionar las áreas prioritarias de conservación para las especies de cactáceas endémicas de la RDS. A: Análisis o actividad ejecutada; R: Resultado esperado.

Como resultado del proceso de depuración, la base de datos de las cactáceas endémicas finalizó con 72 especies y 1618 registros. De éstas 72 especies 16 tienen registros fuera de los límites de la RDS.

### **2.3. Evaluación de la distribución espacial de las especies**

Para evaluar la distribución espacial de las cactáceas endémicas de la RDS, se dividió el área en una retícula con celdas de 30' de latitud por 30' de longitud. La elección de este tamaño de celdas se basa en un análisis previo de exploración de los datos usando las presencias de las especies en diferentes escalas de trabajo, siguiendo lo sugerido por Casagrande *et al.* (2009). El tamaño de la celda se escogió a partir de la observación de los datos en retículas de 15', 30', 45' y 1°. El tamaño que mejor mostraba los patrones de las especies sin perder información o sin generar información poco útil fue la celda de 30'. Este tamaño se utilizó en todos los análisis del estudio. Se registraron 173 celdas con información de presencias de especies, lo que corresponde a 1341 presencias. Todo el trabajo cartográfico se realizó con el apoyo de sistemas de información geográfica (software ArcGis v. 9.3).

#### **2.3.1. Riqueza**

Se contabilizó la presencia de las distintas especies en cada celda generando un valor de riqueza de endemismo por celda.

#### **2.3.2. Rareza y Valor de Conservación**

##### **2.3.2.1. Rareza específica**

Se calculó la rareza de cada especie usando el área de ocupación. Para ello se calculó dicha área en función del número de celdas ocupadas por cada especie. Estos valores de área de ocupación se transforman a valores porcentuales del valor máximo el cual corresponde a la especie más ampliamente distribuida (el 100% de distribución en su valor porcentual). Por ejemplo, la especie de máximo valor de distribución (*Lophocereus schottii*) ocupa 64 celdas en el área, entonces el cálculo de una especie que ocupa 20 celdas es:

$$\text{Área de ocupación} = 20/64 = 0.3125.$$

Con el área de ocupación, se calculó la rareza de cada especie como el complemento del valor máximo de distribución:

$$\text{Rareza Especie (RE)} = 1 - \text{Área de ocupación}$$

Siguiendo con el ejemplo, el valor de rareza de la especie que ocupa 20 celdas es:  $RE = 1 - 0.3125 = 0.6875$ .

Si el valor es cercano a cero, entonces la especie se encuentra ampliamente distribuida, si el valor se acerca a 1, la especie es muy restringida o microendémica.

### **2.3.2.2. Valor de Conservación de la celda**

Con el valor de rareza específica (RE), se calculó el valor de conservación de cada celda como la suma de los valores de RE de las especies presentes en esa celda. Este valor está relacionado con la riqueza de endemismos, pero también con el área de ocupación de las especies, como una medida de la amplitud o restricción de la distribución geográfica de las mismas.

Dado que 173 celdas poseían registros, se priorizó el valor de conservación seleccionando aquellas celdas correspondientes al tercer cuartil. Con los valores de estas celdas se establecieron tres categorías de prioridad. A mayor valor de conservación de la celda mayor es su importancia en términos de conservación y por lo tanto mayor su prioridad.

### **2.3.3. Complementariedad**

El análisis de complementariedad descrito por Vane-Wright *et al.* (1991) y Pressey *et al.* (1993) se utilizó para establecer las prioridades de conservación a través de la selección de conjuntos mínimos de áreas de máxima diversidad complementaria. Esto se logra mediante la selección de celdas que contengan complementariamente la mayor diversidad posible de endemismos; la primera área contiene el mayor número de endemismos y la segunda el mayor número de endemismos complementarios, es decir, que no se encuentren en la primera área seleccionada. Este análisis se repitió hasta completar la totalidad de especies de cactáceas endémicas de la RDS. Una vez obtenidas las celdas que albergan a

todas las especies endémicas, éstas se ordenaron asignándoles un valor de prioridad de acuerdo con su valor de complementariedad. Aquellas celdas que presentaban el mismo valor de complemento, se les asignó el mismo valor de prioridad.

Este análisis también se realizó para las especies endémicas que, de acuerdo con los registros de la Base de Datos de las Cactáceas Endémicas, no se encontraron bajo la protección del actual Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINANP). Esto se realizó con el objeto de evaluar la efectividad de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y considerar nuevas alternativas para la conservación de la diversidad total de cactáceas endémicas de la RDS.

#### **2.3.4. Endemismo mediante análisis de optimalidad**

Existe consenso entre los biólogos de la conservación en que los taxones microendémicos representan los elementos de la biodiversidad más importantes y de más alta prioridad en la conservación. Es por ello que en este trabajo también se ha considerado la importancia de detectar las zonas de microendemismo.

Un área de endemismo está definida como aquella donde hay congruencia en la distribución geográfica de dos o más taxones (Morrone, 1994; Platnick, 1991). Para detectar las áreas de endemismo se realizó el análisis de los datos usando el método propuesto por Szumik *et al.* (2002) y Szumik y Goloboff (2004) implementado en el programa NDM/VNDM v.2.5 (Goloboff, 2005). El método realiza una búsqueda de áreas de endemismo en función de la distribución de las especies, asignando un puntaje (Índice de Endemicidad) a cada área de acuerdo con el grado de endemicidad de cada especie para esa área (Szumik *et al.*, 2006). En este caso, dado que los datos de entrada son especies endémicas a la RDS, el programa detecta aquellas áreas de congruencia distribucional de especies endémicas restringidas a algunas zonas de la RDS, es decir, áreas de microendemismo.

Para seleccionar las áreas obtenidas con NDM se usó la opción de las áreas de consenso disponible en el programa, las que resumen la información contenida en las áreas individuales seleccionadas.

Dado que las áreas obtenidas con este algoritmo corresponden a aquellas donde se representa toda o casi toda el área de distribución de cada una de las especies que la definen, estas áreas resultan en superficies muy amplias que son menos manejables como áreas de conservación dada la escasez de recursos que se destinan a estos fines. Por ello se decidió utilizar las áreas de consenso obtenidas en NDM como base de un análisis para detectar las zonas de microendemismo. A partir de cada una de las áreas de consenso se seleccionaron sólo aquellas celdas donde se encontró, por un lado, más de una especie microendémica o bien dónde se detectó una única especie en la celda que no estaba registrada en ninguna otra celda del área, procurando que cada celda escogida representara la mayor cantidad posible de especies.

#### **2.4. Selección de Áreas Potenciales (AP) para conservación de las cactáceas endémicas de la RDS**

Una vez seleccionadas las áreas microendémicas desde NDM y teniendo las prioridades establecidas en función del valor de conservación y del análisis de complementariedad, se integraron los tres métodos para seleccionar las áreas potenciales para la conservación de las cactáceas endémicas de la RDS.

Las áreas seleccionadas con el método de optimalidad se superpusieron con las celdas priorizadas por su valor de conservación y con aquellas prioritarias según el análisis de complementariedad. Las áreas potenciales se seleccionaron usando las coincidencias espaciales de las celdas. Una coincidencia total se entiende aquí como la congruencia absoluta de celdas bajo los criterios de optimalidad, valor de conservación y complementariedad. También, se consideraron las coincidencias parciales, es decir, cuando dos criterios con alto valor coincidían en una celda, esa celda también fue seleccionada. Por otro lado, también se complementaron las celdas cuando no existía coincidencia de los criterios pero sí continuidad por adyacencia de celdas con alta prioridad, en cuyo caso, se seleccionaron ambas celdas. Con ello se generó una propuesta de áreas potenciales de conservación que buscó, mayor valor de conservación, altos valores de complementariedad y protección de especies microendémicas.

## **2.5. Efectividad de las Áreas Naturales Protegidas en México**

Para evaluar la efectividad de las áreas protegidas mexicanas en cuanto a la conservación de las especies endémicas de la RDS, se cuantificó su presencia dentro de las Áreas Naturales Protegidas (ANP). Para ello se obtuvo la cartografía digital de dichas áreas disponible en la página web de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas de México (<http://www.conanp.gob.mx/sig/informacion/info.htm>). Sólo se consideraron aquellas áreas terrestres federales creadas bajo Decreto Oficial que se encuentran actualmente bajo la administración de la CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas).

## **2.6. Complementariedad para las especies endémicas no protegidas**

Usando los registros de la base de datos, se identificaron cuántas y cuáles especies endémicas se encuentran bajo protección (en reservas con manejo y/o en reservas decretadas aún sin manejo) en una o más áreas. Se realizó un análisis de complementariedad con aquellas especies que no se encontraban protegidas por el SINANP. Una vez detectadas las celdas complementarias a las ANP, se les asignó un valor de prioridad de acuerdo con su valor de complementariedad.

## **2.7. Selección y propuesta de áreas para la conservación de las cactáceas endémicas de la RDS**

Para proponer alternativas para la conservación de las cactáceas endémicas, se utilizó la selección de Áreas Potenciales y las celdas complementarias de las especies no protegidas. A continuación se presentan los pasos seguidos para la selección:

- 1.- Se verificó si alguna de las Áreas Potenciales propuestas se encontraba ya designada como ANP. Para ello se evaluó la coincidencia espacial entre las celdas que conforman las Áreas Potenciales seleccionadas en el punto 2.4 y las Áreas Naturales Protegidas.

2.- Se descartaron de las Áreas Potenciales las superficies de intersección con las ANP ya que lo que se pretende es proponer nuevas áreas que complementen a las ANP. De este modo se genera una nueva capa de Áreas Potenciales sin intersección.

3.- Se comparó esta última capa de Áreas Potenciales sin intersección con las celdas establecidas como complementarias a las ANP (la elaborada con las especies endémicas no protegidas).

4.- Se seleccionaron las Áreas Prioritarias para la conservación de las cactáceas endémicas de la RDS.

Al igual que en la selección de las Áreas Potenciales, esta selección de las Áreas Prioritarias se basó en la selección de las celdas coincidentes por superposición entre la capa de las Áreas Potenciales y la capa de las celdas complementarias a las ANP. Con este método de selección se asegura escoger aquellas celdas con máxima riqueza de endemismos, valor de conservación, microendemismos, además de incluir explícitamente aquellas áreas que contienen especies complementarias a las ANP obteniendo las celdas que se proponen finalmente como áreas prioritarias de conservación para las cactáceas endémicas de la RDS.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Especies endémicas

De acuerdo con el procedimiento establecido en el método, se identificaron 72 especies endémicas de cactáceas distribuidas en 12 géneros. El listado de especies y su número de registros se observa en el Apéndice 1. Sin embargo, de acuerdo con la literatura, este valor correspondería a 73 especies puesto que *Mammillaria goodridgei*, especie no incluida en el análisis, tiene una distribución restringida a la isla Cedros en Baja California. No obstante esta especie es endémica a la RDS, no se consideró puesto que sus nueve registros en la base de datos no coincidían con la distribución establecida por los expertos (Hunt, 2006; Pilbeam, 1999).

El género más diverso en la RDS fue *Mammillaria* con 25 especies y los menos diversos fueron *Carnegiea* y *Pachycereus* con una especie cada uno. La distribución de los registros en el área se observa en la Figura 2.

La selección de taxones endémicos está en directa relación con el área para la cual se están definiendo dichos taxones. Los límites de la RDS son históricamente controvertidos y de hecho, hay quienes consideran que la península de Baja California no forma parte del Desierto Sonorense (Riddle *et al.*, 2000). Sin embargo, una gran mayoría de autores, la consideran como parte principal de la RDS (Hernández y Bárcenas, 1995; Shreve y Wiggins, 1964; Turner *et al.*, 1995). Al modificar los límites de la región de acuerdo con las distintas propuestas, es posible incorporar o eliminar especies que podrían clasificarse como endémicas. En este trabajo para seleccionar las especies endémicas se utilizó como base la definición de la RDS dada por Shreve y Wiggins (1964).

De las 72 especies, 29 (40.3%) se encuentran clasificadas en alguna categoría en la NOM-059 (SEMARNAT, 2010); cuatro como Amenazadas (A) y 25 Sujetas a Protección Especial (Pr).

### 3.2. Distribución de la riqueza de especies endémicas en la RDS

Al subdividir el área de estudio en áreas de 30' latitud por 30' longitud, se obtuvieron 285 celdas. En total, 172 celdas contienen registros y de éstas, 62 (31.95%) contienen una sola especie, mientras que 24 contienen 10 (5.7%) o más (ver Figura 3).

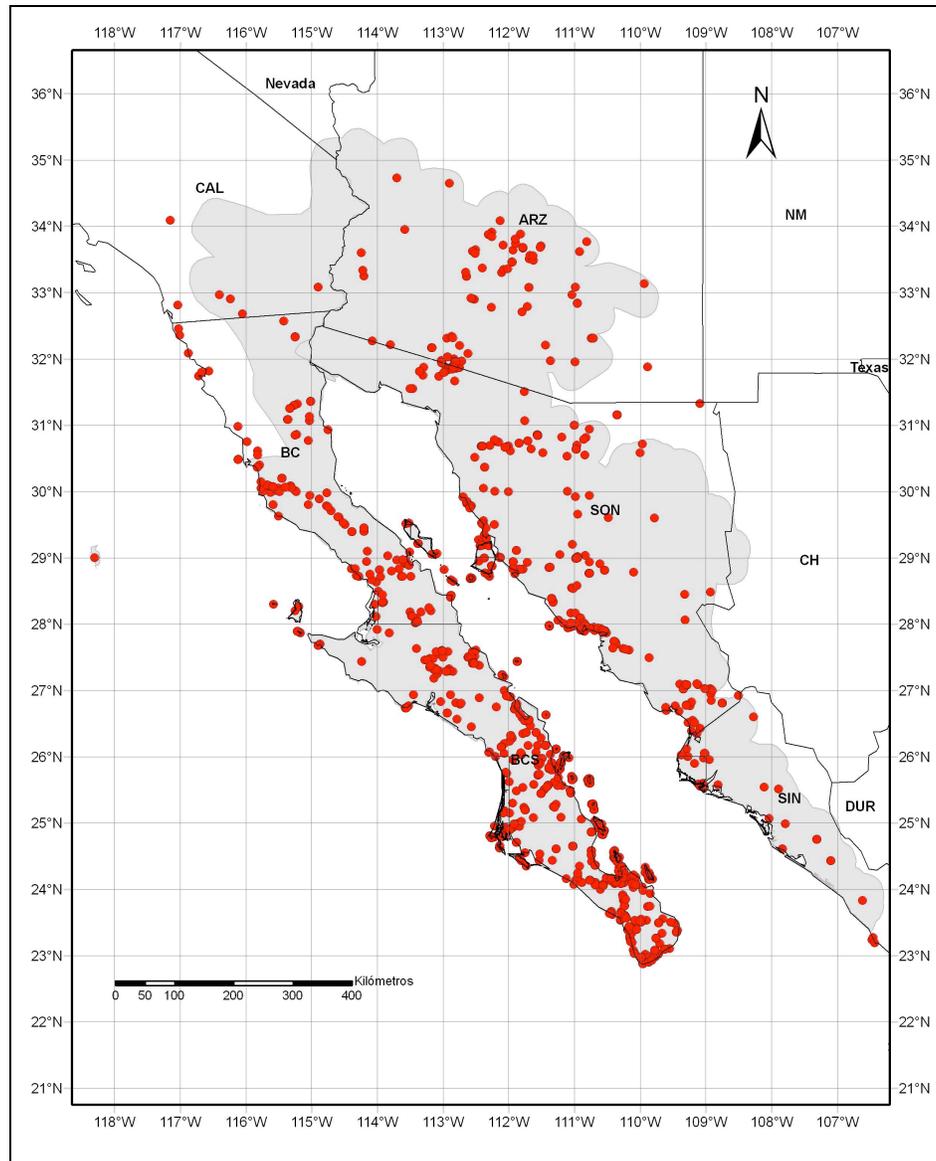


Figura 2: Delimitación geográfica de la RDS (sombreado en gris) y distribución espacial de los registros de la Base de Datos de las Cactáceas Endémicas (círculos en rojo).

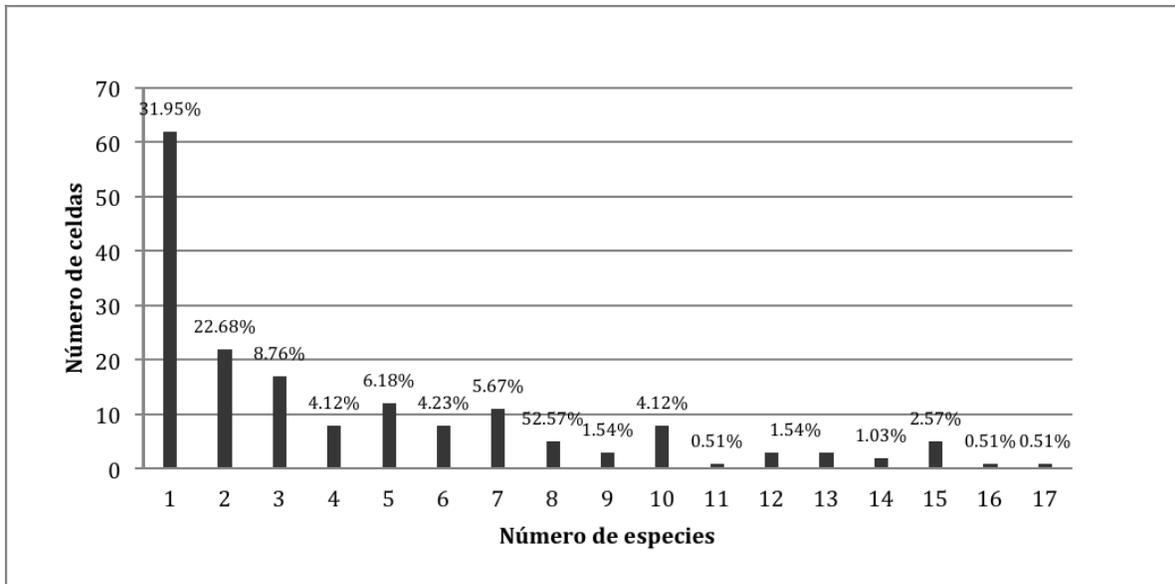


Figura 3: Proporción de la riqueza de especies endémicas según número de celdas ocupadas.

La selección del tamaño de la celda tiene implicaciones en la evaluación de los patrones de riqueza de endemismos y por lo tanto en la selección de las áreas prioritarias. Algunos autores sugieren que la unidad básica de análisis debe ser menor a 125 km<sup>2</sup> ya que superficies mayores reducen la eficiencia de las áreas de conservación (Murray-Smith *et al.*, 2009). No obstante, hay muchos trabajos en que el tamaño de la celda es de 30' o más. La resolución dependerá del grupo de estudio, de la calidad y cantidad de los datos con los que se trabaja y de cuál sea el objetivo del análisis (Santana *et al.*, 2010; Escalante *et al.*, 2011; Casagrande *et al.*, 2009; Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2010; Urquiza *et al.*, 2010). En este estudio, quedó confirmado que los patrones de riqueza de las especies endémicas quedan mejor representados en las celdas de 30'.

Un elemento importante a considerar en la evaluación de la riqueza es la categoría taxonómica de análisis. En este trabajo, la riqueza se ha calculado considerando sólo el nivel específico y la omisión de las categorías taxonómicas infraespecíficas podría parecer una simplificación excesiva. No obstante, géneros como *Mammillaria* que presentan muchas especies con dos o más subespecies, las que además y en su mayoría, tienen conflictos taxonómicos (Hunt, 2006; Prado *et al.*, 2010), se presentan como un problema que no puede ser resuelto en este

estudio. Al reducir el número de taxones al usar sólo el nivel de especie, se podría conferir menos importancia a la región en cuanto a su grado de endemismo, no obstante, la inclusión en este estudio de las subespecies en las cactáceas endémicas podría restarle validez a los resultados dada la incertidumbre de su taxonomía.

La mayor riqueza de endemismos se observa en la porción mexicana de la RDS, particularmente en la península de Baja California. La celda 20 es la más rica y se encuentra al sur de la ciudad de La Paz en Baja California Sur, la cual contiene 17 especies. En la Figura 4 se muestra la ubicación geográfica de las celdas más importantes para todos los análisis y en el Apéndice 2 los nombres de las mismas. Las restantes 16 celdas con alta riqueza de especies endémicas (11 o más especies) se ubican en su mayoría al sur de la península de Baja California las que corresponden a las celdas 19, 22, 24, 25 y 26 (correspondientes a Agüajito El Moreno, El Triunfo, Todos Santos, San José del Cabo y Cabo San Lucas, respectivamente) y sólo tres en Sonora (celdas 9, 12 y 13 correspondientes a La Colorada, isla San Pedro Nolasco y Guaymas, respectivamente). Gran parte de las celdas de mayor riqueza se localizan en sitios costeros ó con influencia costera (Veáse Figura 5).

En general la península de Baja California presenta elevados valores de endemismo en plantas vasculares y las cactáceas constituyen una de las familias más diversas y con mayor endemismo de la península (Riemann y Ezcurra, 2005, 2007). En la península, el endemismo se ha atribuido a dos factores principales; el aislamiento geográfico y la heterogeneidad del paisaje (Riemann y Ezcurra, 2005). En particular, la riqueza de endemismos exhibida en el sur podría relacionarse, entre otras causas, con la mayor precipitación pluvial que recibe esta zona respecto al resto de la península (Servicio Meteorológico <http://smn.cna.gob.mx/>). No obstante, el factor de mayor relevancia podría ser el aislamiento geográfico que se acentúa hacia el extremo sur de la península y la gran diversidad de hábitats dentro de algunas celdas de esta porción de la región. Las celdas de mayor riqueza de endemismos detectadas en este trabajo coinciden con las de otros trabajos realizados en la península tanto para cactáceas como para flora

vascular (León de la Luz *et al.*, 2008; Riemann y Ezcurra, 2005, 2007; Prado *et al.*, 2010). Por otro lado, las celdas 9, 12 y 13 también contienen una alta riqueza en endemismos, no obstante en la literatura especializada, se hace muy poca mención a estas áreas (Felger, 1999). En este análisis dichas celdas son las únicas en el estado de Sonora que presentan altos niveles de endemismo y riqueza. La carencia de endemismos en Sonora no sólo es apreciable en cuanto a las cactáceas, sino que también se manifiesta en toda la flora vascular. El estado de Sonora constituye una zona de convergencia de varios tipos de vegetación donde la división política no actúa como una división natural y por lo tanto gran cantidad de sus especies se encuentran también en otros estados (Van Devender *et al.*, 2010). No obstante, dentro de la RDS a nivel estatal, Sonora presenta una cantidad de endemismos equivalente al de todas las islas del Golfo de California.

La diversidad de endemismos de cactáceas por estado en la se muestra en el Cuadro 1. El estado con más especies endémicas es Baja California Sur seguido por Sonora. Por su parte, la península, que incluye los estados de Baja California y Baja California Sur, es el área de mayor riqueza de endemismos.

Cuadro 1: Riqueza de especies por estado o por área de interés.

<b>Estado ó Área de interés</b>	<b>Nº especies</b>	<b>Nº Endémicas</b>
California	2	0
Arizona	10	0
Baja California	27	7
Baja California Sur	43	20
Sonora	34	13
Sinaloa	10	0
Islas	35	12
Península	52	37

Finalmente, otros factores que también pueden incidir en la selección de especies endémicas y en la riqueza final de cada celda, son otros elementos relacionados con la base de datos (Soberón y Peterson, 2004). Como sucede en la mayoría de las colecciones biológicas, los registros usados se encuentran

asociados a los caminos principales y carreteras, sobre todo en zonas poco accesibles como la península de Baja California (Prado *et al.*, 2010; Riemann y Ezcurra, 2005). A pesar de que este factor es habitualmente importante en los análisis, muchas de las especies endémicas de la RDS tienen hábitos crípticos o distribuciones muy restringidas, por lo que se podría decir que los resultados, bajo una nueva prospección, no cambiarían significativamente si no que más bien aumentarían el nivel de precisión manteniendo el patrón general observado de riqueza y endemidad.

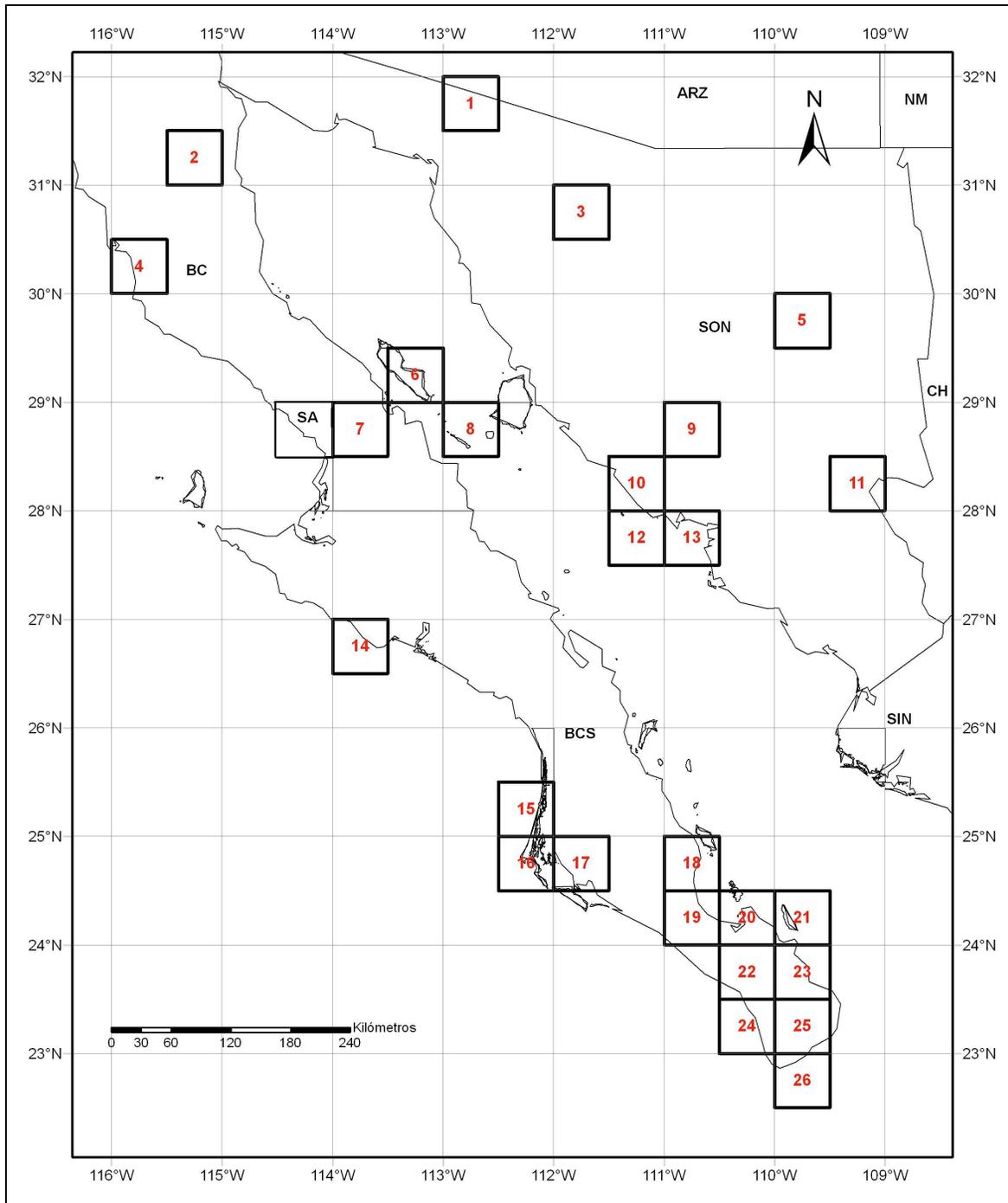


Figura 4: Ubicación geográfica e identificación de las celdas de mayor importancia de endemismos en la RDS. Los nombres de las celdas se muestran en el Apéndice 2. SA: San Andrés.

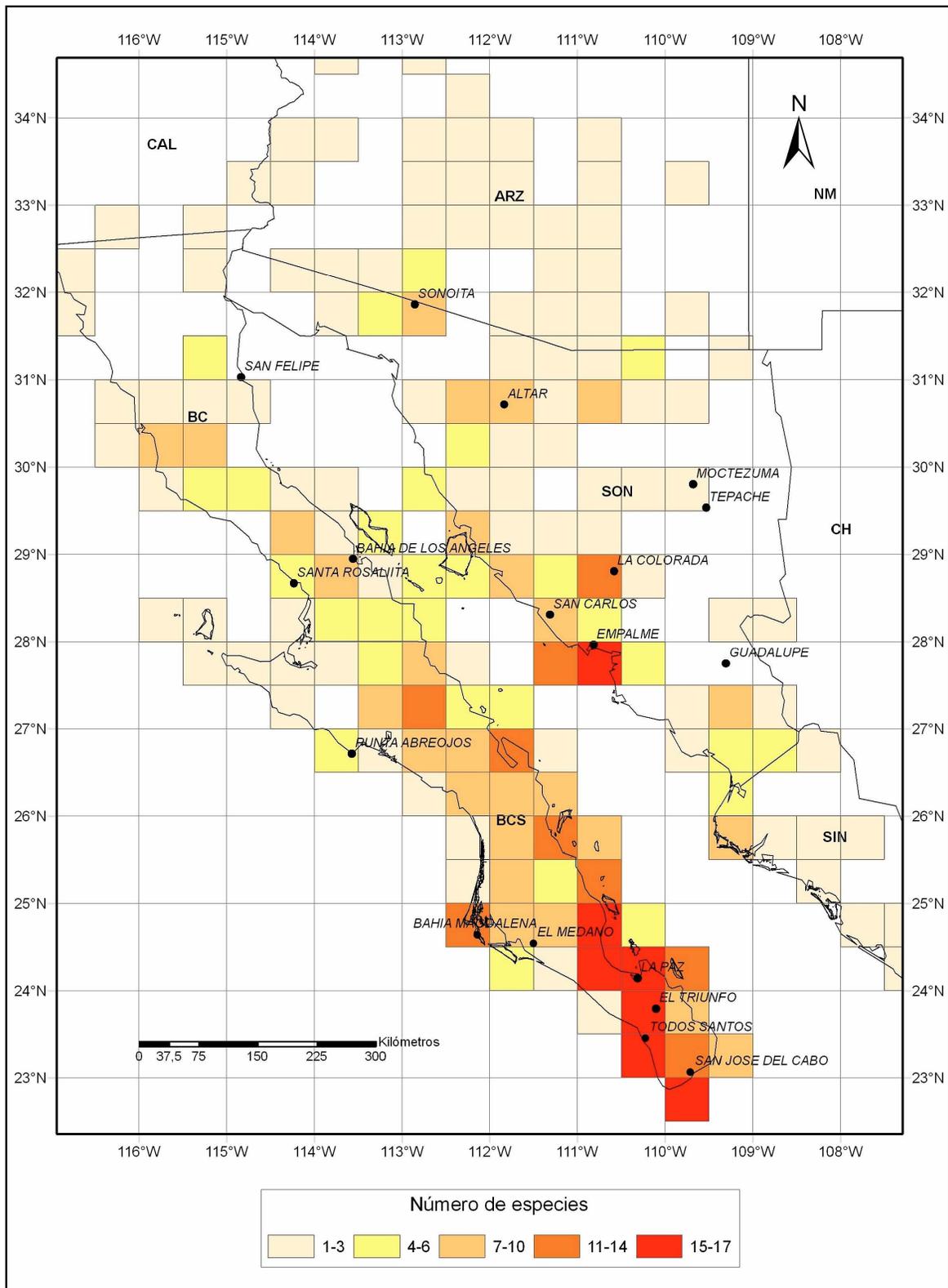


Figura 5: Valores de riqueza de las especies de cactáceas endémicas componentes de cada celda en la RDS.

### 3.3. Rareza Específica

Los valores detectados de rareza específica fluctúan entre 0 y 0.9843 (ver Apéndice 1). A mayor valor, mayor es la rareza de la especie. El valor más bajo corresponde a *Lophocereus schotii*, presente en 64 celdas, en tanto que 12 especies resultan con el valor más alto.

*Lophocereus schotii* es una especie de distribución amplia y conocida, presentándose en toda la RDS, desde el nivel del mar hasta incluso los 1200 msnm (Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2011; Turner *et al.*, 1995). En cambio, cada una de las 12 especies con el máximo valor de rareza se encuentra en una única celda en el área. Estas especies son *Cylindropuntia santamaria*, *Echinocereus barthelowanus*, *E. grandis*, *E. websterianus*, *Ferocactus johnstonianus*, *Mammillaria cerralboa*, *M. multidigitata*, *M. taylorium*, *E. leucanthus*, *E. nicholiii*, *Mammillaria boolii* y *M. miegiana*. De éstas, las ocho primeras son exclusivamente insulares pertenecientes a las islas Ángel de La Guarda, Cerralvo, Las Ánimas, Magdalena, San Esteban y San Pedro Nolasco. Las cuatro restantes son continentales y se encuentran en las celdas 1, 5 y 13 en Sonora. En general los valores más altos de rareza se presentan en los géneros *Mammillaria* y *Echinocereus*; en *Mammillaria* hay 5 de un total de 25 especies endémicas (20%) con alto valor, en tanto que en *Echinocereus* son 5 especies de 10 (50% de todas las especies endémicas de *Echinocereus*), lo que convierte a este género en el más raro en términos porcentuales de todos los que componen las especies endémicas en la RDS. De acuerdo con Anderson (2001), *C. santamaria* es una especie que se distribuye sólo en la isla Santa Magdalena, lugar donde se presentan los registros de la base de datos, al igual que *E. barthelowanus*. Por su parte, *E. grandis* y *E. websterianus* sólo se presentan en islas, y la segunda sólo en San Pedro Nolasco al igual que *M. taylorium* y *M. multidigitata*. *M. cerralboa* sólo encuentra en la isla Cerralvo y *F. johnstonianus* sólo en la isla Ángel de la Guarda. Estas especies presentan un escaso número de registros, pero su presencia coincide totalmente con la distribución restringida descrita en la literatura, por lo que confirma que son especies microendémicas. En el caso de *E. leucanthus* según Anderson (2001) y Paredes *et al.* (2000), la distribución se

describe desde el sur de Sonora (Guaymas) hasta el norte de Sinaloa y de acuerdo con los registros su presencia sólo se restringe a Guaymas y Empalme. En este caso, si bien la distribución de la especie no es tan restringida de acuerdo con los especialistas, esta especie es más bien críptica y la escasez de registros en la base de datos puede ser más bien un artefacto de la colecta, ya que es muy difícil detectarla en campo. También se debe considerar que su distribución es costera y el cambio hacia usos agrícolas en esta zona también puede haber afectado su abundancia y su distribución. En el caso de *E. nicholii*, siguiendo lo descrito por Anderson (2001) y Paredes *et al.* (2000), se encontraría en el noroeste de Sonora y su área adyacente en Arizona, pero de acuerdo con la base de datos sólo se encuentra en la celda de Sonoyta. Si bien esta especie también es críptica, la escasez de registros y su restringida presencia en el área podría deberse a un bajo esfuerzo de muestreo y tal vez, con una prospección más profunda, esta podría ampliarse a las celdas adyacentes al oeste y al norte de la celda Sonoyta. No obstante, a pesar de la restricción de estas especies en particular, se debe considerar que en general, las cactáceas son una familia con especies sumamente raras geográficamente (Hernández *et al.*, 2010).

### **3.4. Valor de conservación de las celdas**

Los valores de conservación de cada celda varían entre 0 y 11.1875 (el valor cero se registra en tres celdas cuya única especie presente es *L. schottii* que al tener un área de ocupación calculada como  $(64/64) = 1$ , su rareza específica es  $= (1-1) = 0$  y por lo tanto el valor de la celda es 0). Para efectos de priorización, realizó un corte del tercer cuartil equivalente al menor valor de las 43 celdas con mayor valor. Esto es, se seleccionaron todas las celdas con valores mayores a 3.5352. En general, las celdas con altos valores de conservación se concentran en la península. De las 43 celdas, 11 se ubican en Sonora, en tanto que las otras 32 están en la península e islas (ver Figura 6).

Para discriminar cuáles de las 43 celdas seleccionadas son las más importantes en términos de conservación, éstas se priorizaron de acuerdo con su valor. Las prioridades establecidas se observan en el Cuadro 2.

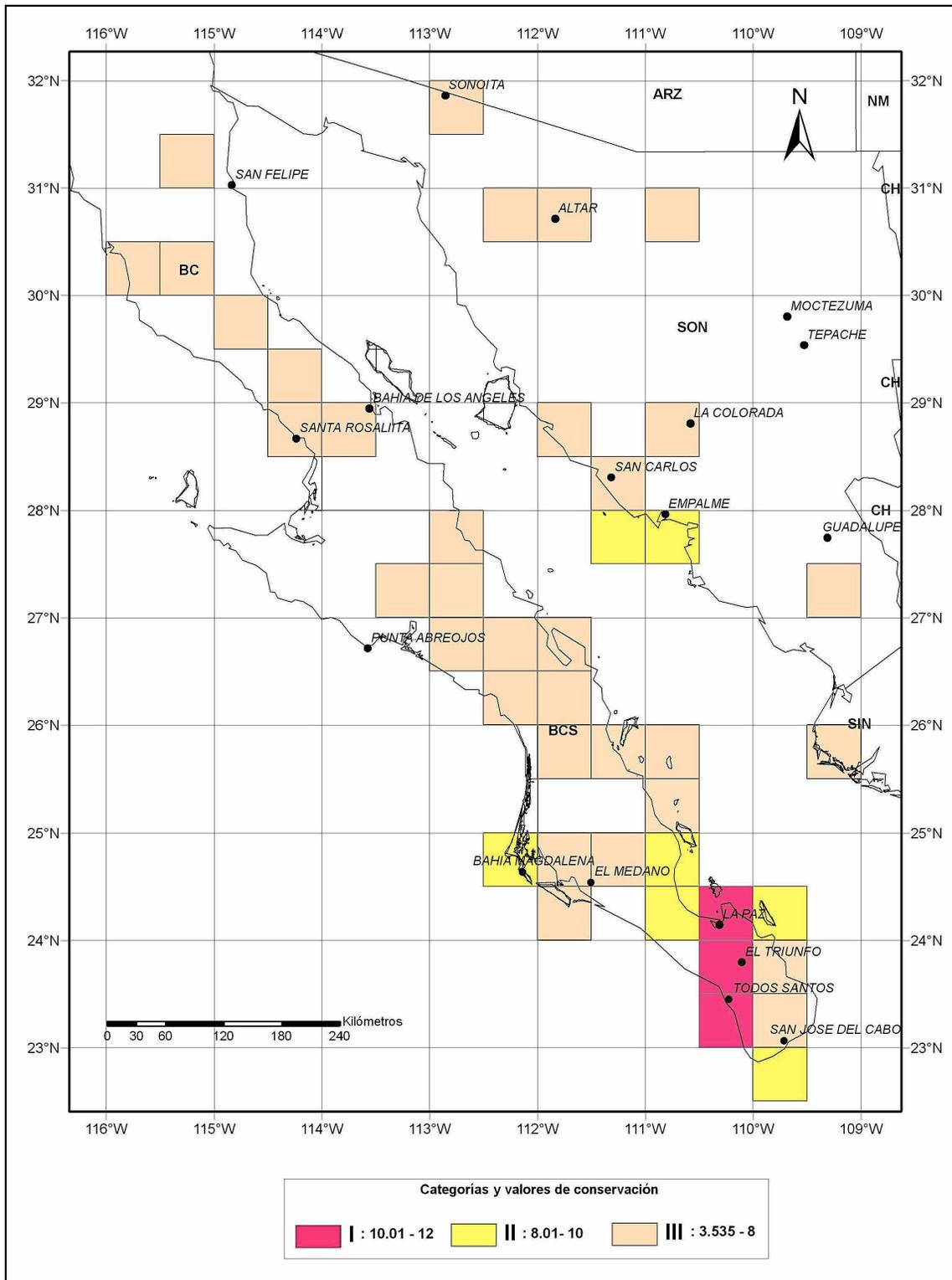


Figura 6: Ubicación geográfica de las celdas seleccionadas y priorizadas según su valor de conservación. Prioridad: I, II, III.

Cuadro 2: Rangos de prioridad para los valores de conservación.

Intervalo Valor de Conservación	Prioridad	Nº celdas
10.01 - 12	I	3
8.01- 10	II	7
3.535 - 8	III	33

De las 43 celdas, las tres de prioridad I se encuentran en la península, específicamente las celdas 20, 22 y 24, celdas contiguas en Baja California Sur. Respecto a las de prioridad II, cinco de las siete celdas se encuentran en la península desde la ciudad de La Paz hasta Los Cabos. Las dos restantes, se ubican en el continente en las celdas 13 (Guaymas) y 12 (isla San Pedro Nolasco). En cuanto a las de prioridad III, nueve se ubican en el área continental de la región en el estado de Sonora y 25 en la península e islas (Figura 6). Estas áreas críticas coinciden con algunas de las detectadas en el estudio de Prado *et al.* (2010), donde cada una de las tres celdas mencionadas contiene áreas con una alta diversidad filogenética, varias formas de crecimiento, riqueza o endemismos de la familia Cactaceae. En el estudio elaborado por Riemann y Ezcurra (2005) estas celdas contienen áreas que se proponen como prioritarias y complementarias a la reserva Sierra de la Laguna ya que constituyen sitios con alta endemidad y de elevada riqueza florística.

Las celdas de prioridad II ubicadas en la península también se establecen en la parte sur de la misma; una al oeste y otra noroeste de la celda de La Paz (celdas 18 y 19), una tercera al este que incluye a la isla Cerralvo (celda 21), una en el Cabo San Lucas (celda 26) y una quinta en la celda de Puerto San Carlos, Magdalena (celda 16). Esta última posee 13 especies endémicas de las cuales, dos son microendemismos de la celda (*C. santamaria* y *E. barthelwanus*). La celda 16 además incluye una porción importante de los registros de *Stenocereus eruca*, especie restringida a una parte del área denominada como Región de Magdalena por Shreve y Wiggins (1964). Algunas de las celdas de Magdalena también han sido reconocidas como prioritarias en el trabajo de Prado *et al.* (2010). Finalmente, las celdas de prioridad II corresponden a las celdas 12 y 13,

ambas con especies restringidas sólo a esas celdas (*E. leucanthus* en Guaymas y *E. websterianus*, *M. boolii*, *M. multidigitata* y *M. taylorium* en la isla San Pedro Nolasco).

### **3.5. Análisis de optimalidad**

El análisis de optimalidad ha sido usualmente utilizado para detectar las áreas de endemismo pero con un sentido más bien biogeográfico (Carine *et al.*, 2009; Domínguez *et al.*, 2006; Escalante *et al.*, 2009, 2010). En este estudio sin embargo, se ha considerado útil pues reconoce zonas de microendemismo ya que se utilizan sólo especies endémicas. El programa es de carácter cuantitativo, por lo que la evaluación no depende del criterio del experto, si no que más bien se enmarca en cálculos repetibles que hace que los resultados más objetivos (Szumik *et al.*, 2002; Szumik y Globoff, 2004; Szumik *et al.*, 2006). Sin embargo, es necesario mencionar que los resultados de los análisis, son sensibles a los vacíos de información y del tamaño de la celda (Casagrande *et al.*, 2009).

Siguiendo el concepto que define un área de endemismo como aquella donde al menos dos especies presentan coincidencia en sus distribuciones geográficas, (Morrone, 1994; Platnick, 1991) el análisis de optimalidad se generó considerando aquellas celdas que tuvieran al menos dos especies. Se realizaron 50 réplicas y se generaron áreas de consenso con 50% de similitud de especies en el consenso contra cualquier otra área. Como resultado de este análisis, se detectaron cinco áreas de consenso dentro de la RDS, todas en México (ver Cuadro 3). Estas son: Área de Consenso I (Los Cabos-El Triunfo-La Paz, 8 celdas, entre las que incluye las celdas 19 hasta la 26), Área de Consenso II (Guaymas-isla San Pedro Nolasco, 5 celdas, entre las que incluye las celdas 10 hasta la 13), Área de Consenso III (Bahía Magdalena, 11 celdas, incluye entre las 11 las celdas de la 15 a la 17), Área de Consenso IV (Misión San Borja - Islas del Golfo Central, 9 celdas, incluye entre sus celdas de la 6 a la 8) y una quinta área que abarca desde la isla Carmen hasta El Triunfo (incluye 19 celdas). Sin embargo, esta última área tiene más de 50,000 km<sup>2</sup> con un bajo valor de Índice de Endemicidad (2.12 - 2.87) y albergaría sólo cuatro especies microendémicas. Dado que su extensa superficie reduce la

efectividad en términos de su manejo y conservación y que en ninguna celda se encontraron las cuatro especies simultáneamente, se descartó de los resultados. Con las cuatro áreas restantes, se contempla un área total de 33 celdas como resultado de las cuatro áreas de consenso (equivalentes a 43,716.58 km<sup>2</sup> aproximadamente). De acuerdo con los valores del índice de endemidad, el área de mayor importancia es Los Cabos-El Triunfo-La Paz (ver Cuadro 3).

Después del proceso de reducción descrito en el método (punto 2.3.4), se seleccionaron 15 de las 33 celdas de las áreas de consenso que equivalen a 19,811.3 km<sup>2</sup> aproximadamente (ver Figura 7). Estas 15 celdas denominadas Áreas de microendemismo, contienen 22 especies microendémicas y en total 57 especies endémicas a la RDS equivalentes al 79% de todas cactáceas endémicas del área de estudio. En la Figura 7 se presentan las Áreas de microendemismo seleccionadas.

Cuadro 3: Resumen de las cuatro áreas de consenso obtenidas mediante el análisis de optimalidad. IE: Índice de Endemicidad del área de consenso. Nótese que cada área posee varias celdas (cuarta columna del cuadro).

Área de Consenso (AC)	Especies	IE Área	Número de Celdas
I (Sector Los Cabos- El Triunfo-La Paz)	<i>Echinocereus sciurus</i>	3.3 - 4.8	8
	<i>Echinocereus pensilis</i>		
	<i>Lophocereus gattesii</i>		
	<i>Mammillaria cerralboa</i>		
	<i>Mammillaria peninsularis</i>		
	<i>Mammillaria petrophila</i>		
	<i>Mammillaria phitauiana</i>		
	<i>Mammillaria schumannii</i>		
	<i>Opuntia bravoana</i>		
II (Sector Guaymas- isla San Pedro Nolasco)	<i>Echinocereus leucanthus</i>	3.37692- 3.87692	5
	<i>Echinocereus websterianus</i>		
	<i>Mammillaria boolii</i>		
	<i>Mammillaria johnstonii</i>		
	<i>Mammillaria mutidigitata</i>		
	<i>Mammillaria taylorium</i>		
III (Sector Bahía Magdalena)	<i>Cyindropuntia santamaria</i>	2.54545 - 2.79545	11
	<i>Echinocereus barthelowanus</i>		
	<i>Mammillaria halei</i>		
	<i>Stenocereus eruca</i>		
IV (Sector Misión San Borja - islas del Golfo Central)	<i>Echinocereus grandis</i>	2.2 - 2.45833	9
	<i>Ferocactus johnstonianus</i>		
	<i>Mammillaria insularis</i>		

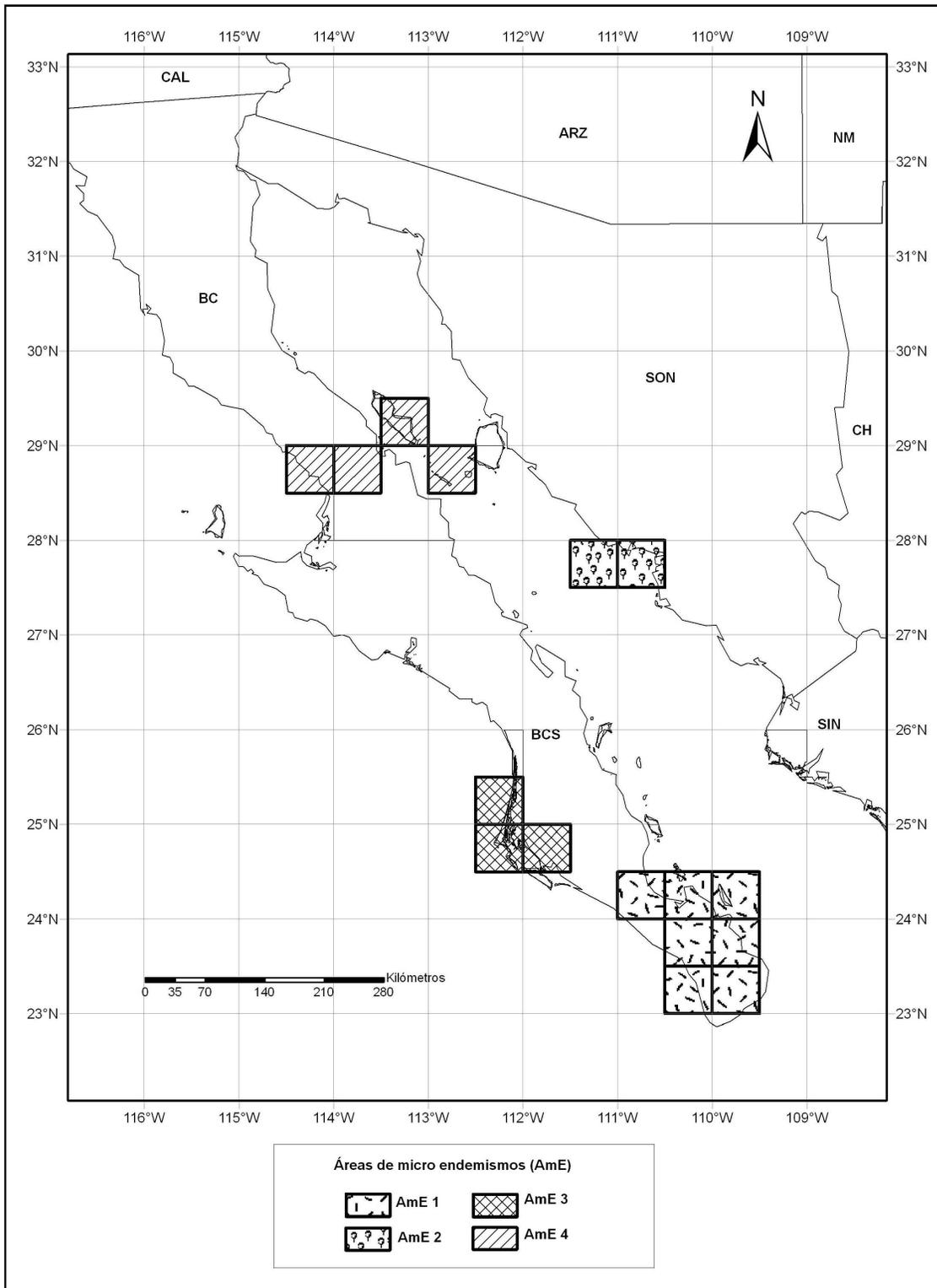


Figura 7: Ubicación geográfica de las cuatro áreas de microendemismo (AmE) seleccionadas con base en el análisis de optimalidad (NDM).

Para la RDS no se habían efectuado hasta ahora análisis que permitieran determinar las áreas conteniendo especies microendémicas de cactáceas. Las áreas de microendemismo obtenidas, protegerían también a otras especies de cactáceas endémicas de más amplia distribución. Estos sitios son altamente prioritarios en términos de conservación, ya que son áreas absolutamente irremplazables en la naturaleza (Brooks, 2010; Lawler *et al.*, 2003; Myers *et al.*, 2000; Pressey *et al.*, 1993, 1994).

Parte del Área de microendemismo 1 ha sido reconocida como de elevada riqueza y alta endemidad en otros trabajos (Prado *et al.*, 2010; Riemann y Ezcurra, 2005, 2007). Al igual que el Área de microendemismo 1, las Áreas de microendemismo 3 y 4 también han sido reconocidas como zonas con alta diversidad y endemismos en algunos sectores particulares dentro de cada celda (Riemann y Ezcurra, 2007). El Área de microendemismo 2 no ha recibido tanta atención, no obstante hay un trabajo que destaca la alta diversidad de la zona mediante un estudio florístico del Cañón de Nacapule (Felger, 1999), área costera incluida en la celda 10.

### **3.6. Complementariedad**

El análisis de complementariedad indica que con 20 celdas (equivalentes al 8.37% del área de la RDS) es posible proteger el 100% de las especies consideradas en el análisis (ver Cuadro 4). Se obtuvieron ocho prioridades para las 20 celdas (ver Figura 8). Las siete celdas con los cinco valores de prioridad más altos protegen 51 especies, equivalentes al 71% de todas las especies de cactáceas endémicas de la RDS. Las 21 especies restantes se encuentran en 13 celdas, es decir, más del doble de la superficie requerida para proteger al 71% de las especies. Estas 13 celdas poseen una baja concentración de especies endémicas.

Cuadro 4: Celdas de Complementariedad para las especies endémicas de la RDS y su clasificación según división política. Estado: BC= Baja California, BCS= Baja California Sur, SON= Sonora, AZ: Arizona; EC= Número de especies complementarias.

<b>Nombre de la Celda</b>	<b>Estado</b>	<b>EC</b>	<b>Prioridad</b>
20: La Paz	BCS	17	I
9: La Colorada	SON	9	II
7: San Borja	BC	7	III
22: El Triunfo	BCS	5	IV
12: San Pedro Nolasco	SON	5	IV
16: Puerto San Carlos	BCS	4	V
1: Sonoyta	SON/AZ	4	V
24: Todos Santos	BCS	3	VI
21: Isla Cerralvo	BCS	2	VII
13: Guaymas	SON	2	VII
3: Altar	SON	2	VII
4 : El Rosario	BC	2	VII
2: San Felipe norte	BC	2	VII
San Andrés	BC	2	VII
11: San Nicolás	SON	1	VIII
5: Moctezuma	SON	1	VIII
18: Isla San José	BCS	1	VIII
8: Islas Salsipuedes, San Lorenzo, San Esteban	BC/SON	1	VIII
6: Isla Ángel de la Guarda	BC	1	VIII
14: Punta Abreojos	BCS	1	VIII

Aunque las celdas complementarias El Triunfo y Todos Santos no se encuentran dentro del Desierto Sonorense de acuerdo con la definición del entregada por Shreve y Wiggins (1964), en este estudio estas celdas sí se han considerado como parte de la región ya que varios registros de especies que se encuentran dentro de éstas corresponden a especies distribuidas esencialmente en el Sonorense.

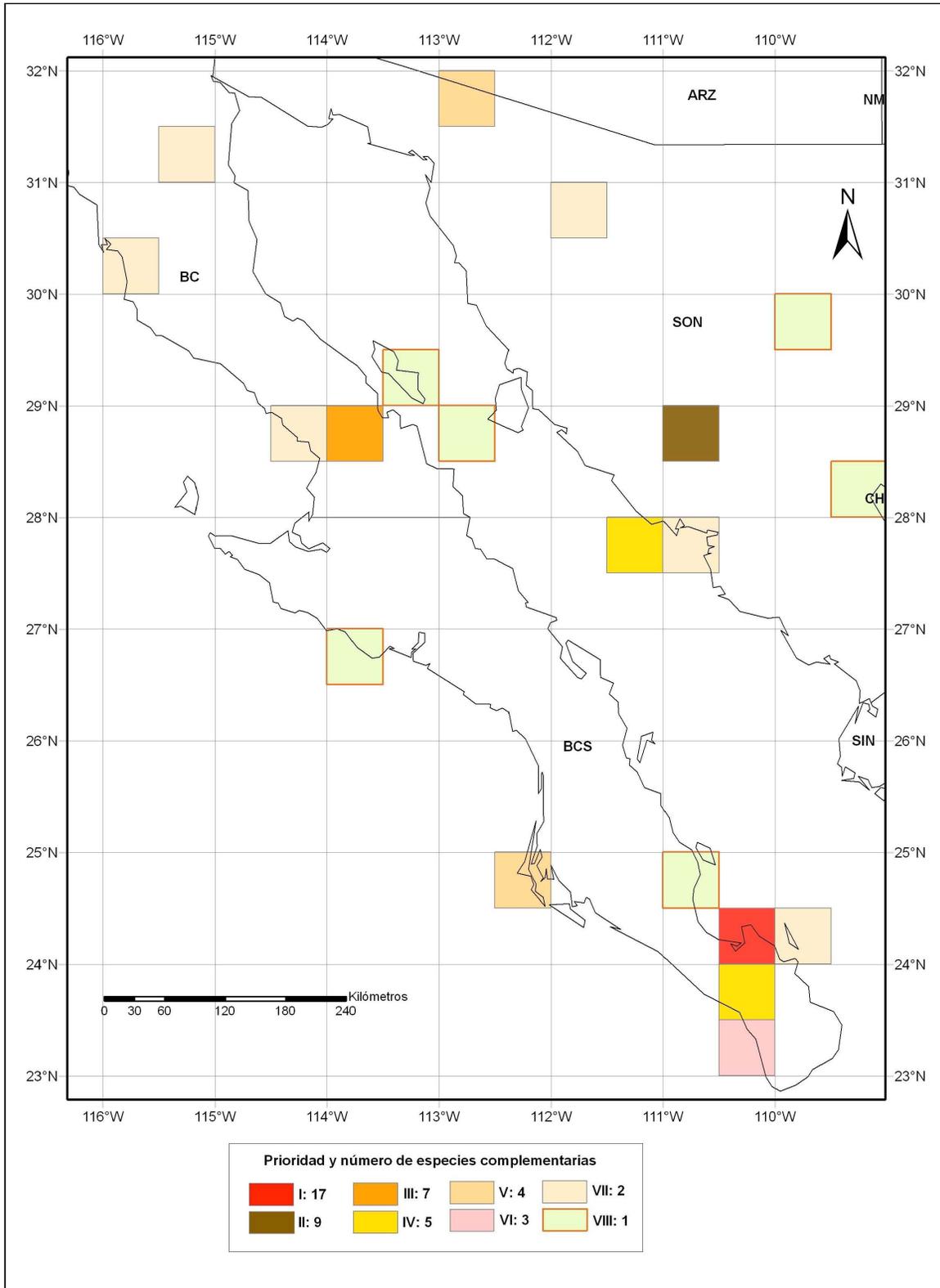


Figura 8: Ubicación geográfica de las celdas prioritarias seleccionadas mediante el análisis de complementariedad. Números del I-VIII: rango de prioridad.

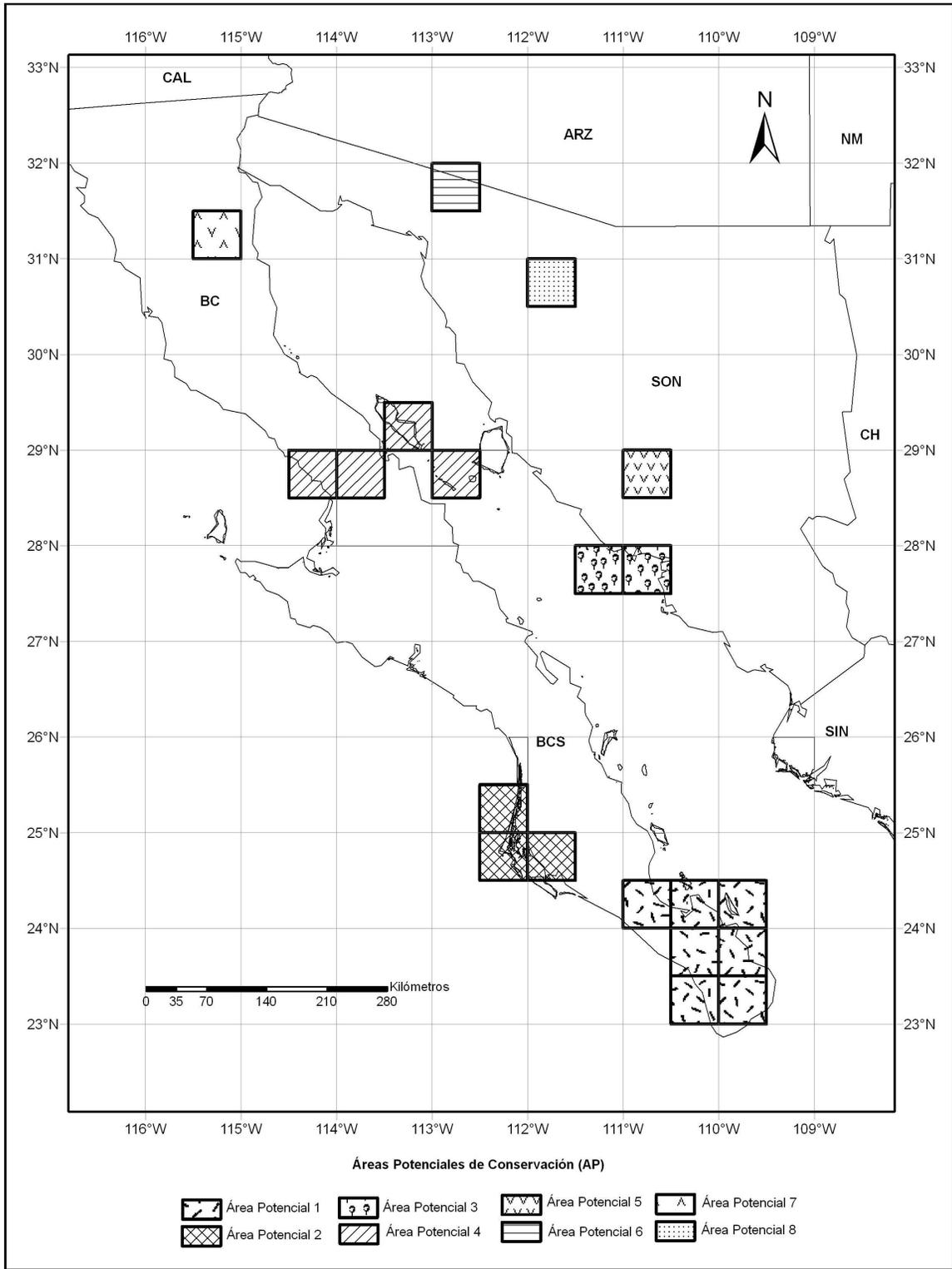


Figura 9: Ubicación geográfica de las áreas potenciales de conservación para las cactáceas endémicas de la RDS.

### **3.7. Selección de áreas potenciales para la conservación (AP)**

Para seleccionar las áreas potenciales para la conservación se aplicó el método ya descrito de selección de celdas mediante la superposición y combinación de las capas de información de las Áreas de microendemismo, valor de conservación y complementariedad (punto 3.4 del método). Con ello se seleccionaron como alternativas potenciales de conservación las siguientes áreas (ver Cuadro 5 y Figura 9):

#### **Área Potencial 1 (La Paz/Los Cabos):**

Comprende las celdas 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25. En esta área cuatro celdas coinciden en todos los criterios de selección, en tanto que en tres (celdas 19, 23 y 25) coinciden dos criterios en cada una. Las siete celdas del área presentan valor de conservación y cuatro de ellas presentan prioridades de complementariedad. El área se ubica en el estado de Baja California Sur y corresponde a toda el Área de microendemismo seleccionada desde el análisis de optimalidad. Esta área protegería 31 especies y es el área de mayor riqueza de endemismo de las cuatro propuestas. Posee 11,704.6 km<sup>2</sup>.

#### **Área Potencial 2 (Bahía Magdalena):**

Está compuesta por las celdas 15, 16 y 17. El área está ubicada en la isla Magdalena y su bahía en el estado de Baja California Sur. Protegería 15 especies. Posee coincidencia total de los tres criterios en la celda 16, en tanto que la celda 17 presenta coincidencia de celda de microendemismo y prioridad III de valor de complementariedad. La celda 15 se incorpora puesto que corresponde a una de las seleccionadas de microendemismo y completa la otra mitad de la isla Magdalena que quedó fraccionada en las celdas 15 y 16. La superficie abarca 3,578.5 km<sup>2</sup>. Esta área es la de menor riqueza de endemismos de las cuatro propuestas, no obstante, protege casi toda la distribución de *Stenocereus eruca*, especie conspicua que se encuentra clasificada como Amenazada según la NOM-059 (2010).

#### **Área Potencial 3 (Guaymas):**

Comprende las celdas 12 y 13, ambas seleccionadas como celdas del área microendémica y se ubica en el estado de Sonora. Las dos celdas presentan

coincidencia de los tres criterios simultáneamente. Protegería 20 especies y es la segunda área con mayor riqueza de endemismos. Si se calcula la proporción de riqueza por área, ésta es la de mayor concentración de especies endémicas. El área posee 991.9 km<sup>2</sup>.

**Área Potencial 4 (Misión San Borja - Islas del Golfo Central):**

Esta área considera cuatro celdas en total (celdas 6, 7, 8 y la celda San Andrés). Las celdas (6 y 8) presentan coincidencia de dos criterios, microendemismo y complementariedad en las islas Ángel de la Guarda, Salsipuedes, San Esteban y San Lorenzo. La celda 7 presenta coincidencia de los tres criterios, en tanto que la celda de San Andrés no se presenta selección de área microendémica pero presenta coincidencia de rango III para VC y VII para IC. El área total se ubica en el estado de Baja California. Protegería 18 especies y posee una superficie de 3,536.2 km<sup>2</sup>.

**Área Potencial 5 (La Colorada-Hermosillo):**

Corresponde a la celda 9 ubicada al sur de Hermosillo en el estado de Sonora y se seleccionó debido a que presenta coincidencia prioridad III de valor de conservación y II de complementariedad. El área total contiene 12 especies. Posee 2,626 km<sup>2</sup> aproximadamente.

**Área Potencial 6 (Sonoyta):**

Corresponde a la celda 1 con prioridad V de complementariedad y III de valor de conservación ubicada en la frontera entre México y Estados Unidos de Norteamérica en los estados de Sonora y Arizona, respectivamente. La superficie de la celda es de 2,626 km<sup>2</sup> aproximadamente. El área protegería diez especies.

**Área Potencial 7 (San Felipe):**

Corresponde a la celda 2 ubicada en el estado de Baja California al norte de San Felipe, en el Desierto de San Felipe. Posee una superficie de 2,626 km<sup>2</sup> aproximadamente. Presenta coincidencia de prioridad III para valor de conservación y VII para complementariedad. Protegería 6 especies.

**Área Potencial 8 (Altar):**

Está compuesta por la celda 3 que presenta coincidencias de la prioridad VII para complementariedad y III para valor de conservación. Su superficie

aproximada es de 2,626 km<sup>2</sup>. Se ubica en el estado de Sonora y protegería 10 especies.

En total, estas 20 celdas albergan a 67 especies, esto es, en menos del 12% del área se conservan un 93% del total de especies endémicas a la RDS.

Las áreas potenciales propuestas se muestran en la Cuadro 5.

Cuadro 5: Coincidencias de criterios para la selección de las áreas prioritarias de conservación. Criterios: AmE= Áreas de microendemismo, VC= valor de conservación, C= complementariedad, R= riqueza de endemismos.

Área Potencial	Celda	Criterios			
		AmE	VC	C	R
1 (Los Cabos-La Paz)	19: Aguajito El Moreno	Si	II	-	31
	20: La Paz	Si	I	I	
	21: Isla Cerralvo	Si	II	VII	
	22: El Triunfo	Si	I	IV	
	23: Bahía de Los Muertos	Si	III	-	
	24: Todos Santos	Si	I	VI	
	25: San José del Cabo	Si	III	-	
2 (Bahía Magdalena)	15: Isla Magdalena	Si	-	-	15
	16: Puerto San Carlos	Si	II	V	
	17: Médano Amarillo	Si	III	-	
3 (Guaymas-Isla San Pedro Nolasco)	13: Guaymas	Si	II	VII	20
	12: Isla San Pedro Nolasco	Si	II	IV	
4 (Misión San Borja - Islas del Golfo Central)	San Andrés	-	III	VII	18
	7: San Borja	Si	III	III	
	6: Isla Ángel de La Guarda	Si	-	VIII	
	8: Islas Salsipuedes, San Esteban y San Lorenzo	Si	-	VIII	
5 (La Colorada)	9: La Colorada-Hermosillo	-	III	II	12
6 (Sonoyta)	1: Sonoyta	-	III	V	10
7 (San Felipe)	2: San Felipe	-	III	VII	6
8 (Altar)	3: Altar	-	III	VII	10

### **3.8. Evaluación de la coincidencia espacial entre las Áreas potenciales (AP) y las Áreas Naturales Protegidas (ANP)**

En primera instancia y con el objeto de no proponer áreas que ya están protegidas, se compararon las superficies de las Áreas Potenciales con las ANP y se descartaron aquellas superficies que ya se encuentran protegidas. En la porción mexicana de la RDS existen 15 áreas terrestres protegidas de carácter federal establecidas por decreto. Las áreas consideradas se muestran en la Figura 10. En teoría, estas áreas protegen 79,566 km<sup>2</sup> bajo diversas categorías de manejo.

El Área Potencial 1 se intersecta con la reserva nacional Sierra de la Laguna y parte del área de protección de flora y fauna Islas del Golfo de California, particularmente con las islas Espíritu Santo y Cerralvo. El Área Potencial 3 alberga a la isla San Pedro Nolasco y todas las pequeñas islas costeras del área, las cuales son parte de área de protección de flora y fauna Islas del Golfo de California. En su porción terrestre, se sobrepone con la reserva especial de la biósfera Cajón del Diablo (que actualmente no tiene aún plan de manejo ni administración formal por lo que no se ha considerado en los análisis). El Área Potencial 4 se encuentra dentro del área de protección Valle de Los Cirios e Islas del Golfo. En el cuadro 6 se muestran las superficies de traslape entre las AP y las ANP. Como resultado de éste análisis se genera un capa de información con las Áreas Potenciales sin las superficies que se intersectan con las ANP.

Es necesario mencionar que la celda del Área Potencial 6, está protegida su porción estadounidense por el área Organ Pipe Cactus national monument en el estado de Arizona y es adyacente a la reserva de la biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar. Las demás Áreas Potenciales (AP) no presentan intersección con las ANP mexicanas, por lo tanto las Áreas Potenciales seleccionadas a partir de este análisis son siete; AP 1, AP 2, AP 3, AP 5, AP 6, AP 7 y AP 8. El AP 4 por estar totalmente protegida en el SINAMP queda descartada.

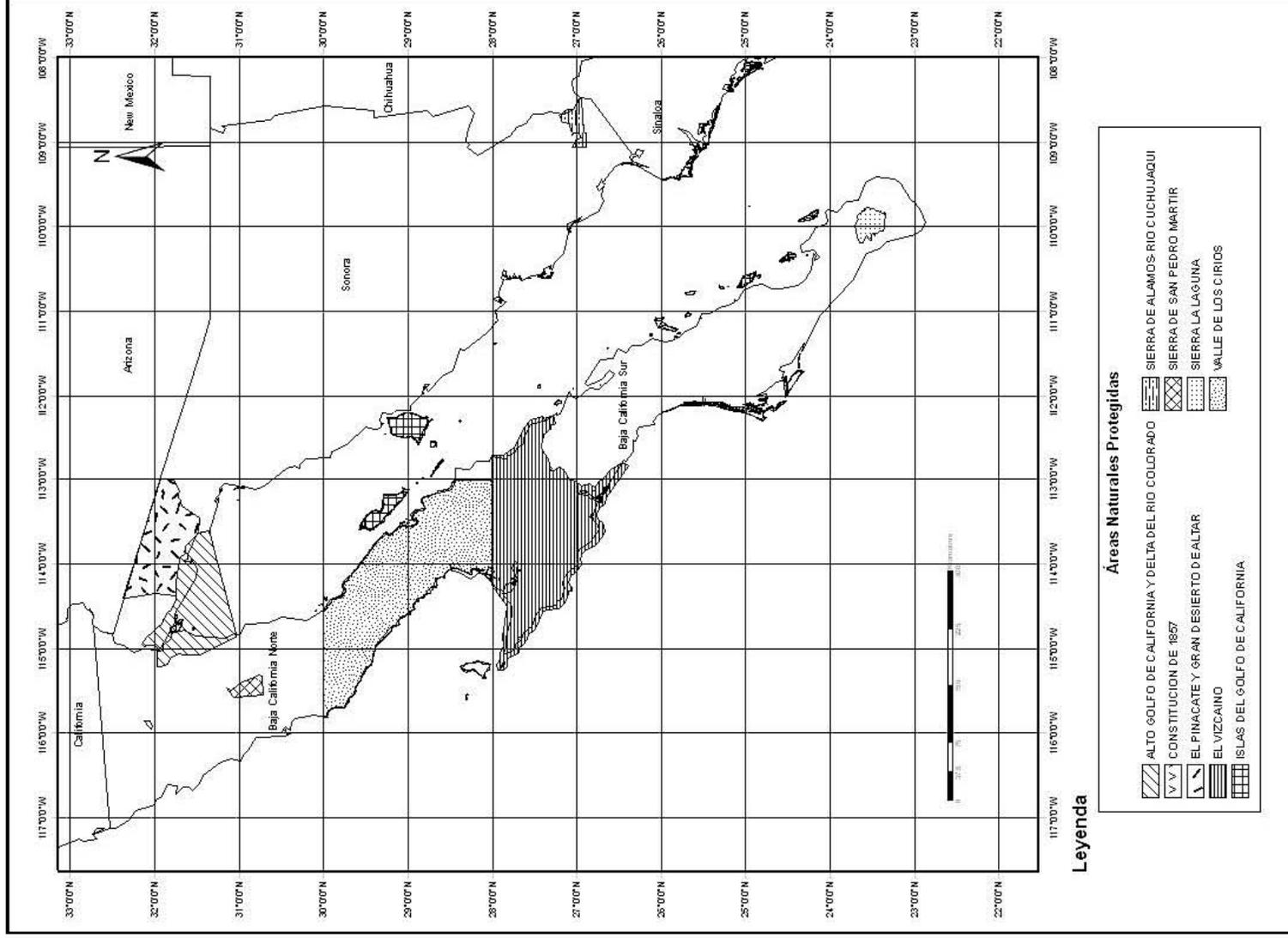


Figura 10: Ubicación geográfica de las Áreas Naturales Protegidas federales de México para la RDS de acuerdo con la Comisión Nacional de Áreas Protegidas.

Cuadro 6: Áreas potenciales y porcentaje de intersección con las áreas naturales protegidas.

Áreas Potenciales (AP)	Superficie Área Potencial(km <sup>2</sup> )	Áreas Naturales Protegidas (ANP)	S.I (km <sup>2</sup> ); Intersección (%)
1	11,704.60	Sierra de La Laguna, Islas del Golfo	1405.77; 12.01
2	3,578.50	-	0
3	991.9	Islas del Golfo	3.5; 0.35
4	3,536.20	Valle de Los Cirios, Islas del Golfo	3536.2; 100
5	2,626	-	0
6	2,626	-	0
7	2,626	-	0
8	2,626	-	0

### 3.9. Evaluación de la efectividad de las Áreas Naturales Protegidas mexicanas en la conservación de las especies de cactáceas endémicas de la RDS

El análisis muestra que 23 de las 72 especies (32%) no se encuentran bajo protección en el SINAMP. Este porcentaje no es elevado, pero sí importante. De estas 23 especies no protegidas, un 74% se encuentran muy restringidas ocupando cuatro celdas o menos en toda la RDS. Dada la estrechez de sus áreas de distribución, su prioridad de protección es mayor considerando el riesgo inminente al que están sometidas.

### 3.10. Análisis de complementariedad con las especies de cactáceas endémicas no protegidas de la RDS

El análisis de complementariedad considerando las 23 especies no protegidas indica que con 11 celdas adicionales a las áreas de conservación existentes, es posible proteger el 100% de las especies endémicas de la Región (ver Figura 11). Se obtuvieron cuatro valores de prioridad para las 11 celdas complementarias. En el Cuadro 7 se presentan las celdas y los valores de complemento y prioridad.

Cuadro 7: Número de especies complementarias y prioridad de las celdas obtenidas mediante el análisis de complementariedad para las especies no protegidas por las ANP. (\*): corresponde a la porción continental de la celda y no a la isla.

<b>Número y nombre de la celda</b>	<b>Nº de especies complementarias</b>	<b>Prioridad</b>
16: Puerto San Carlos	5	I
13: Guaymas	5	I
19: Aguajito El Moreno	3	II
2: San Felipe norte	2	III
24: Todos Santos	2	III
1: Sonoyta	1	IV
12: Isla San Pedro Nolasco*	1	IV
10: El Choyudo	1	IV
9: La Colorada	1	IV
5: Moctezuma	1	IV
11: San Nicolás	1	IV

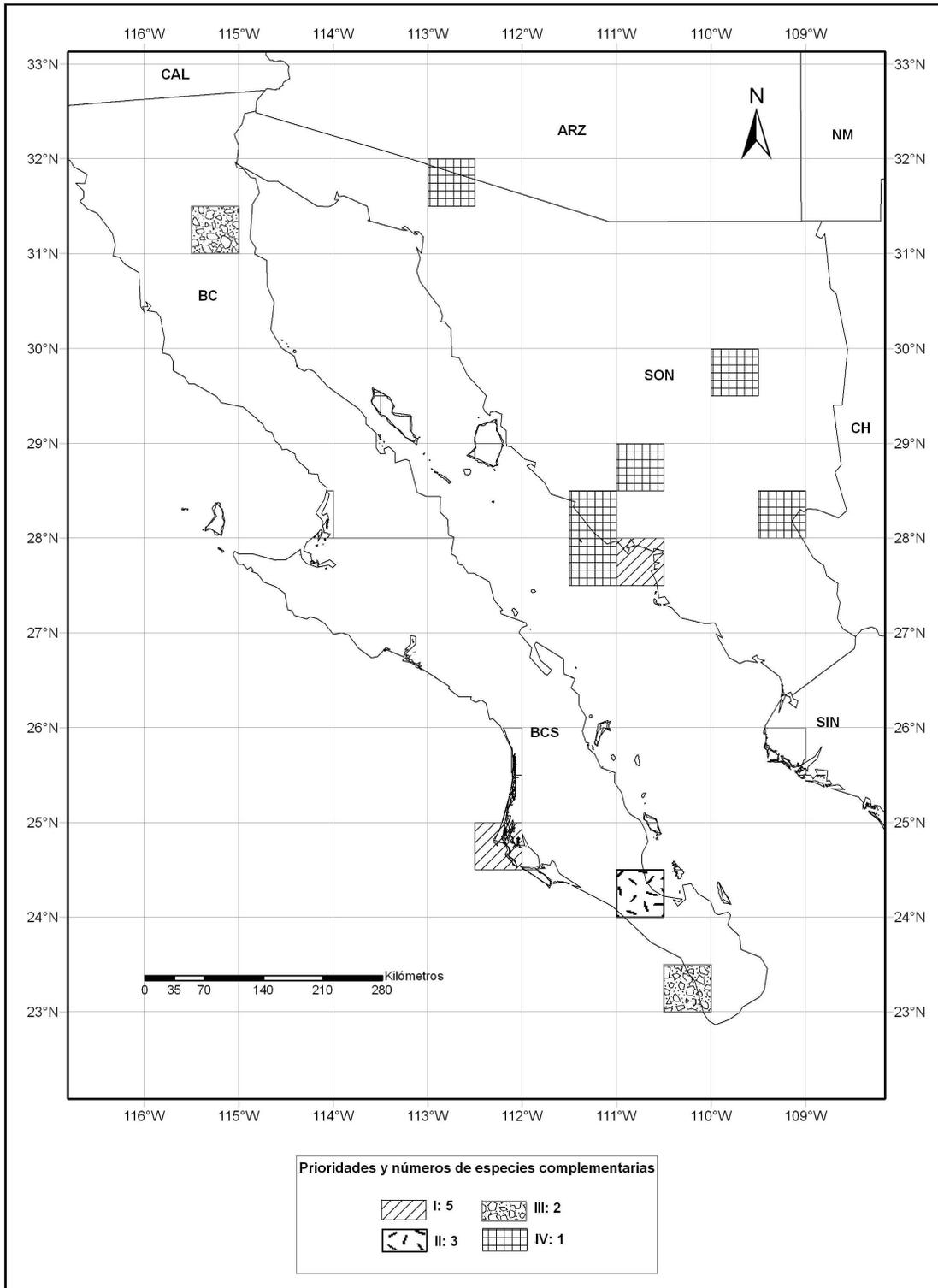


Figura 11: Ubicación geográfica de las celdas complementarias a las ANP obtenidas mediante el análisis de complementariedad para las especies no protegidas.

La protección que brindan las ANP, si bien puede no ser eficiente en un 100% (Figuroa y Sánchez- Cordero, 2008), es fundamental tanto para la vida silvestre como para el mantenimiento de los servicios que prestan los ecosistemas (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2000). Aunque no todas las áreas actuales han sido creadas con el objetivo de preservar la diversidad biológica o los servicios ecosistémicos, son áreas cuya administración y manejo conllevan un esfuerzo significativo de recursos que han protegido áreas naturales de las actividades humanas, al menos, algunas especies y sus hábitats.

Las áreas que aquí se propondrán como resultado final de los análisis son prioritarias para la conservación de las especies y sus hábitat y se plantean como un complemento clave a las ANP ya existentes.

### **3.11. Selección de las Áreas Prioritarias para la conservación de las cactáceas endémicas: Áreas Potenciales y celdas complementarias de las especies no protegidas**

Como resultado final, se seleccionaron las Áreas Prioritarias para la conservación de las cactáceas endémicas de la RDS. Para ello se compararon las siete Áreas Potenciales sin intersección obtenidas en el punto 3.8 con las 11 celdas complementarias a las ANP (método descrito en el punto 3.7).

Al comparar ambas capas de información se observó que existe una fuerte coincidencia entre las celdas (Figura 12). De las 11 celdas complementarias, ocho se encuentran dentro de las Áreas Potenciales seleccionadas. Estas ocho celdas protegerían 20 de las 23 especies no protegidas por las ANP (87%), en tanto que las tres celdas complementarias restantes, que no se encuentran dentro de las Áreas Potenciales, protegerían a las tres especies faltantes. Estas tres celdas son la 5 (Moctezuma), 10 (El Choyudo) y 11 (San Nicolás).

Considerando esto, en la selección de las Áreas Prioritarias para la conservación, las Áreas Potenciales constituyen el cuerpo básico. Las Áreas Potenciales seleccionadas albergan un alto porcentaje de las especies endémicas de la RDS y corresponden a áreas con altos niveles de microendemismo las que se consideran prioritarias en materia de conservación (Hernández y Gómez-

Hinostroza, 2011; Myers *et al.*, 2000). Además albergan a un gran número de especies que no se encuentran protegidas por las ANP, razón por la cual todas las Áreas Potenciales pasan a conformar Áreas Prioritarias para la conservación. La excepción se constituye con el Área Potencial 8 que no presenta coincidencia con las celdas complementarias y se descarta como alternativa prioritaria de protección, ya que todas las especies que alberga están protegidas en algún ANP o en alguna de las Áreas Potenciales. La celda complementaria 10, que se encuentra entre el Área Potencial 3 y el Área Potencial 5 sirvió como puente de unión de las dos áreas para conformar un Área Prioritaria a partir de estas dos Áreas Potenciales. De esta forma, esta Área Prioritaria incluye a las celdas 9, 10, 12 y 13 (la celda 12 sólo en su porción continental) y se le denominó Área Prioritaria 3 Guaymas-Hermosillo (ver cuadro 8). Con esto, la protección de las Áreas Prioritarias en conjunto con las ANP alcanza 70 especies (97.2%) y sólo dos especies no se encontrarían protegidas en esta solución (*Mammillaria miegiana* y *M. sonorensis* correspondientes a las celdas complementarias 5 y 11 respectivamente).

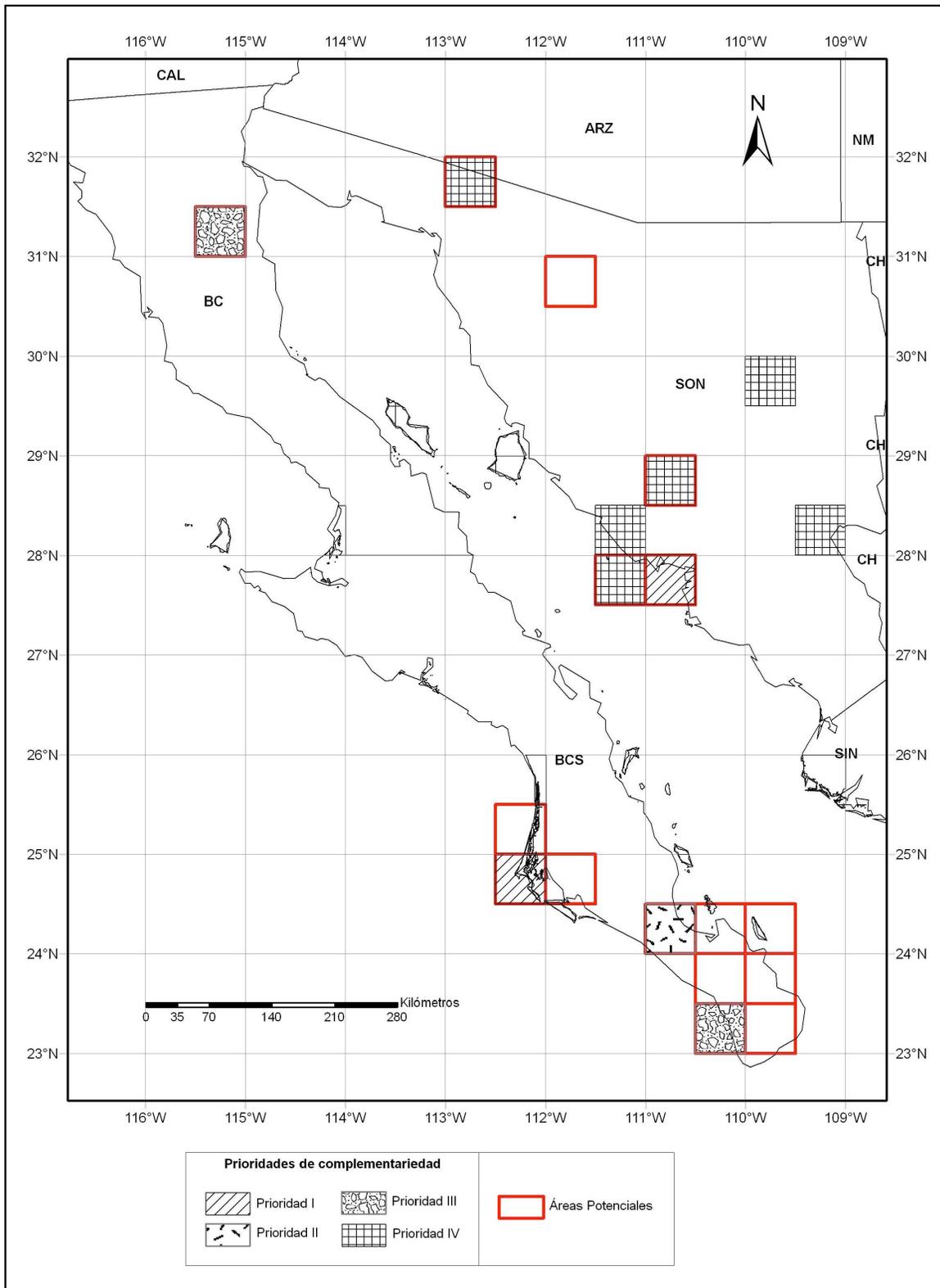


Figura 12: Ubicación geográfica de las áreas potenciales propuestas y las áreas complementarias a las ANP.

Si bien las celdas de Moctezuma y San Nicolás podrían completar la protección del 100% de las especies endémicas, no se consideran en la propuesta final, puesto que su riqueza es muy reducida. La celda 5 sólo contiene a *M. miegiana* en tanto que la celda 11 contiene a *M. sonorensis* y a *Cylindropuntia thurberi*, donde la última especie se encuentra dentro del Área Prioritaria 3. En este sentido, las Áreas Prioritarias 4 y 5 (áreas de Sonoyta y San Felipe norte) sí son consideradas a pesar de estar conformadas por sólo una celda. A diferencia de las celdas de Moctezuma y San Nicolás, las celdas de de Sonoyta y San Felipe norte protegen diez y seis especies respectivamente. Sin embargo, estas dos Áreas Prioritarias (4 y 5) deben considerarse en un contexto diferente a las demás áreas prioritarias propuestas. En años recientes, se ha documentado que pequeñas áreas deben ser consideradas como una alternativa clave en la conservación, puesto que éstas serían más eficientes en la protección de las especies debido a la facilidad de su manejo y a la menor cantidad de recursos económicos a invertir en ellas (Hernández *et al.*, 2010; Cowling *et al.*, 2003; Laguna *et al.*, 2004); este es el caso de las Áreas Prioritarias 4 y 5. Dado que las especies más importantes de estas celdas son justamente aquellas de mayor restricción y que no se encuentran protegidas dentro de las ANP, se debe considerar una prospección profunda que verifique que su distribución de modo que otorgue mayor peso a la protección de estas celdas, y en particular de estas especies. Esto también se sugiere para las celdas 5 y 11 con sus especies *M. miegiana* y *M. sonorensis*.

En síntesis, de las 72 especies, 49 se encuentran protegidas en las Áreas Prioritarias propuestas. De estas 49 especies, 21 sólo se encuentran dentro de las Áreas Prioritarias propuestas y 28 se encuentran protegidas tanto por alguna ANP como por alguna de las Áreas Prioritarias. De las 23 especies que no se encuentran dentro de las Áreas Prioritarias, 21 se encuentran protegidas sólo en las ANP consideradas y dos no se encuentran protegidas. En el Apéndice 1 se muestra la protección de cada especie.

Las cinco Áreas Prioritarias resumidas en 16 celdas protegen en conjunto con las ANP consideradas en los análisis el 97.2% (70) de las especies endémicas de

la RDS. Las Áreas Prioritarias propuestas para la conservación de las especies de cactáceas endémicas de la RDS se presentan en el Cuadro 8 y en la Figura 13.

Cuadro 8: Áreas de Prioritarias de conservación propuestas para las cactáceas endémicas de la RDS. CANP: Número de especies complementarias de las ANP; TEP: total de especies protegidas en las áreas propuestas. (\*): Las áreas sólo contemplan protección terrestre. (\*\*): las celdas contemplan únicamente la porción continental y no incluyen a las islas.

Área Prioritaria	Celdas	CANP	TEP	Superficie (km <sup>2</sup> )*
1 (Los Cabos-La Paz)	19, 20, 21**, 22, 23, 24, 25	5	27	10,504.56
2 (Bahía Magdalena)	15, 16, 17	5	15	3,601.61
3 (Guaymas-Hermosillo)	9, 10, 12**, 13	8	19	5,742.61
4 (Sonoyta)	1	1	10	2,626.16
5 (San Felipe)	2	2	6	2,511.9
	<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>49</b>	<b>24,986.84</b>

De las Áreas Prioritarias aquí seleccionadas, algunas ya se han delineado como alternativas de conservación y complemento de las ANP en otros trabajos. El Área Prioritaria 1 ha sido sugerida por Prado *et al.* (2010) como un área de alta diversidad filogenética, formas de crecimiento, riqueza taxonómica y endemismo de cactáceas. Por otro lado, Riemann y Ezcurra (2005, 2007) la proponen como prioridad de conservación por su alto nivel de riqueza y endemismo en flora vascular. Esta área presentaría según Riemann y Ezcurra (2005, 2007), al menos 304 especies endémicas y de ellas, 39 microendémicas en el área que definen como Región de San Lucas, que abarca casi toda el área aquí definida como Área Prioritaria 1.

El Área Prioritaria 2 también ya ha sido propuesta como prioridad de conservación. Por una parte, en el estudio de Prado *et al.* (2010) parte de esta área aparece con un enorme potencial para apoyar la conservación proporcionada por las ANP de la península para la protección de la diversidad de las cactáceas. Por otro lado, Riemann y Ezcurra (2005) la consideran como un área fundamental

en la protección de la flora endémica de la península. En un análisis realizado por Urquiza-Haas *et al.* (2009), el cual incluye mamíferos, anfibios, reptiles y flora vascular en la lista roja de la UICN, también la consideran un sitio de alta prioridad para la conservación.

El Área Prioritaria 3 ha recibido menos atención, pero un trabajo de Felger en 1999, describe la flora del Cañón de Nacapule destacando la enorme riqueza florística del área y proponiéndola como área de conservación en Sonora. El cañón de Nacapule se ubica al norte de Guaymas en la zona costera. En particular, el área de Guaymas presenta afinidades florísticas y climáticas importantes con la península de Baja California (Brown, 1982 Turner y Brown, 1982, Feleger, 1999). Otros estudios mencionan el área costera desde Guaymas hasta Bahía de Kino como un área de alta diversidad y endemismos (Van Devender *et al.*, 2010). El área de La Colorada/Hermosillo no se ha destacado en la literatura. Ésta corresponde casi enteramente con la subdivisión del Desierto Sonorense denominada Planicies de Sonora y representa de acuerdo con Shreve (1951) una entidad fitogeográfica claramente diferenciada del Desierto Sonorense)

Por otro lado, el área correspondiente al Desierto de San Felipe (Área Prioritaria 5, celda 2), también ha sido propuesta por Prado *et al.* (2010) como un área de prioridad para la conservación ya que presenta una alta riqueza y diversidad filogenética de cactáceas.

La RDS ha sido estudiada en diferentes aspectos, pero no todas las veces se ha estudiado como región. La mayoría de las investigaciones se realizan en algunas o varias de sus subdivisiones y gran parte de ellas se restringen a las divisiones políticas (Bullock *et al.*, 2008; Felger, 1999; Felger *et al.*, 2011; León de La Luz *et al.*, 2003; 2008; León de la Luz y Breceda, 2006; Delgadillo-Rodríguez y Macías- Rodríguez, 2002; Molina-Freaner y Van Devender; 2010; Riemann y Ezcurra, 2005, 2007; Prado *et al.*, 2010; Paredes *et al.*, 2000; Van Devender *et al.*, 2010; Velasco y Alanís, 2002; Wilder *et al.*, 2008, entre otros). En este trabajo se ha realizado un análisis de la región como un todo y además se han definido las especies de cactáceas endémicas y con ellas se han propuesto sitios para su conservación usando métodos tradicionales de selección de áreas, pero éstos se

han utilizado de forma combinada. En este sentido, se ha procurado que las áreas propuestas protejan simultáneamente a las especies microendémicas, a las áreas de mayor riqueza de endemismos y que éstas además sean el complemento de las ANP en la protección de las especies de cactáceas endémicas a la RDS.

No obstante, es necesaria una exploración profunda de la distribución de las especies, sobre todo de aquellas que se han categorizado como microendémicas: por un lado, para validar su categorización, por otro para conocer el estado real de las especies y sus poblaciones, además de las amenazas específicas que las afectan. Esta exploración permitirá tomar medidas apropiadas y ajustadas a la realidad en aras de su adecuado manejo y conservación. Las áreas aquí propuestas constituyen una primera aproximación al conocimiento de la distribución de las cactáceas endémicas de la RDS, y son prioritarias pues su valor se basa en la riqueza y restricción de las especies endémicas que contienen, lo que les confiere un alto grado de vulnerabilidad.

La intervención antrópica en la Región es importante. Hasta la última mitad del siglo XX, se afirmaba que la intervención en el área no era significativa y se consideraba una de las áreas silvestres poco perturbadas del mundo (Mittermeier *et al.*, 2002). Hoy se observa la amenaza constante y creciente del cambio de uso de suelos, principalmente por agricultura, uso pecuario, minería, urbanización y desarrollo costero turístico o industrial (Castellanos-Villegas *et al.*, 2009; Martínez-Yrizar *et al.*, 2010; Búrquez y Martínez-Yrizar, 2007, Stoleson *et al.*, 2005). Estas intervenciones son catastróficas para especies cuya restricción geográfica las hace altamente vulnerables a la extinción. Bajo la perspectiva conservacionista, las áreas aquí propuestas son irremplazables en la naturaleza y su pérdida sería irreversible (Brooks, 2010; Lawler *et al.*, 2003; Myers *et al.*, 2000; Pressey *et al.*, 1993, 1994), por ello la urgencia y prioridad de su protección.

La selección de las áreas de conservación es una tarea compleja donde se deben balancear muchos objetivos e intereses diferentes, pero sin duda que los componentes biológico y ecológico deben ser la parte central de la toma de decisiones (Miller *et al.*, 2006; Wilson *et al.*, 2005).

La protección de las áreas aquí propuestas, algunas de las cuales han sido

sistemáticamente sugeridas por otros autores como sitios prioritarios de conservación, no debe ser ignorada y debe ser asumida con responsabilidad (Martínez-Yrizar y Búrquez, 2010; Búrquez y Martínez-Yrizar, 1992, 2000). Las áreas propuestas son la base para considerar estudios futuros con análisis más detallados cuyo objeto sea definir qué sectores en particular dentro de las Áreas Prioritarias son los óptimos para proteger a las especies. Por otro lado, al considerar esta propuesta a futuro, necesariamente se deben incorporar una serie de aristas y objetivos que no sólo incluyan la atención en el acervo biológico, si no que también incluyan aspectos sociales y ambientales; un esquema fundamental para llevar exitosamente a la práctica las actividades de conservación (Carwardine *et al.*, 2008; Gorenflo y Brandon, 2006; Jackson y Gaston, 2008).

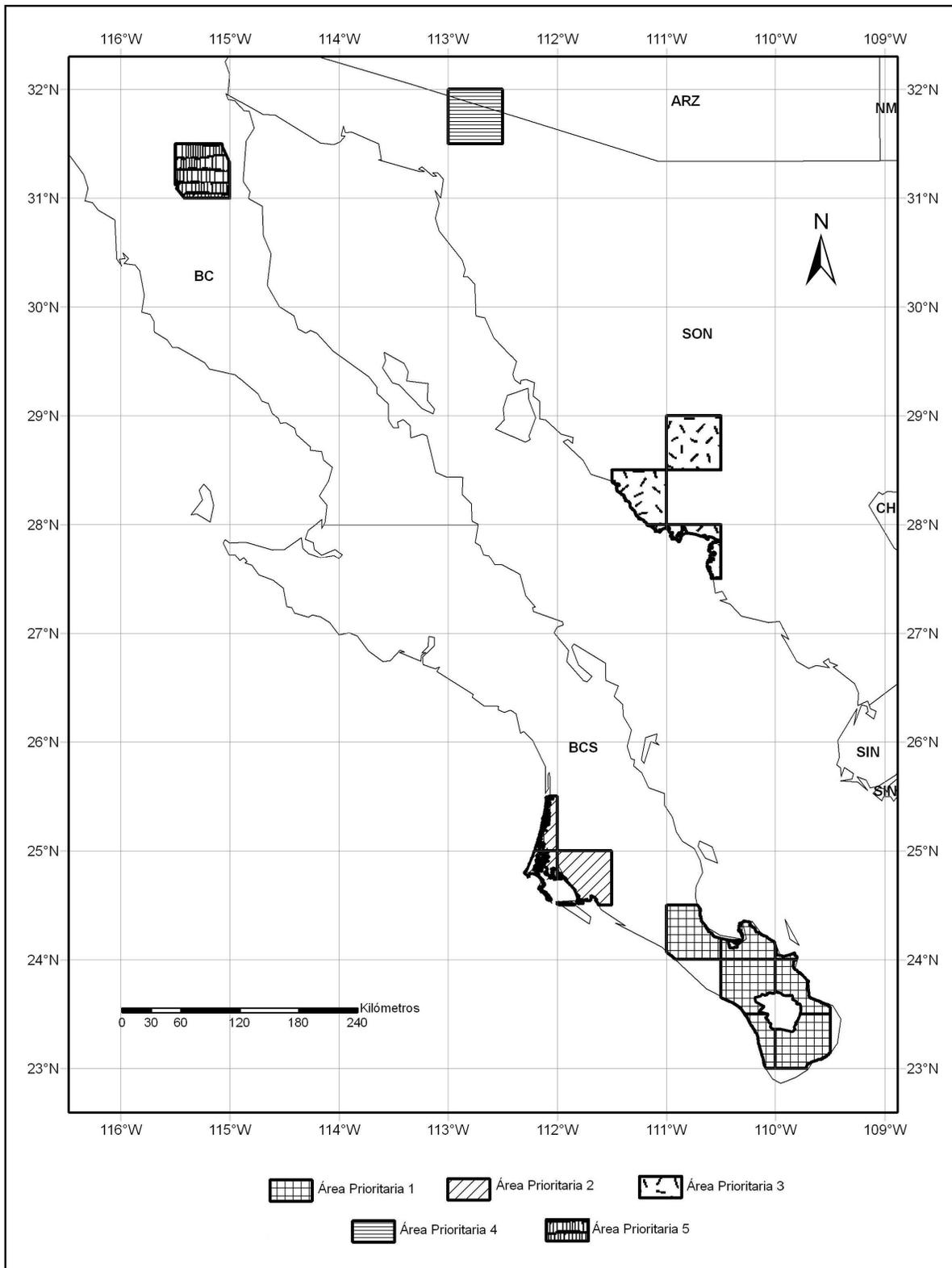


Figura 13: Ubicación geográfica de las Áreas Prioritarias propuestas para la conservación de las cactáceas endémicas de la RDS.

#### 4. Conclusiones

El estudio y la conservación de la biodiversidad, especialmente de los taxones endémicos ó muy restringidos en su distribución geográfica son un asunto prioritario para evitar su extinción. Para proteger estas especies, es necesario conocerlas de forma adecuada. Con este estudio, se estableció que la Región del Desierto Sonorense alberga 72 especies endémicas de cactáceas. Los patrones geográficos descritos por los registros de estas especies permiten reconocer a la península de Baja California como el área de mayor riqueza de endemismos de la Región, corroborando lo ya descrito por otros estudios previos acerca del alto nivel de endemidad de la península; una consecuencia natural del aislamiento geográfico. La mayor concentración de endemismos se observa al sur de ésta, mientras que en el continente esto se observa en la zona de Guaymas. Asimismo, se detectaron 12 especies altamente restringidas (sólo presentes en una celda), diez de las cuales se encuentran en las cuatro áreas microendémicas establecidas por el análisis de optimalidad. De estas áreas, tres se ubican en la península y sólo una en el continente. El mismo patrón geográfico se repite en la detección de Valor de Conservación de las celdas, donde los valores más altos se registran al sur de la península y en el área de Guaymas. El área de Guaymas, presenta una estrecha relación con la península en términos florísticos y climáticos por lo que no es sorprendente esta coincidencia. Integrando estos resultados se reconocieron ocho áreas potenciales para la conservación de las especies de cactáceas endémicas; cuatro en Sonora y cuatro en la península de Baja California.

Con estos resultados, es posible reconocer esencialmente dos elementos; la distribuciones de cada una de las especies analizadas de acuerdo con los registros de la base de datos, y así mismo, las áreas más importantes para la conservación de estas especies endémicas.

También fue posible comparar y analizar estas áreas potenciales y las especies endémicas respecto a la protección que brindan las ANP. Considerando esto se obtuvieron cinco áreas prioritarias para la conservación de las cactáceas endémicas en la RDS; dos en Sonora, una en Baja California y dos en Baja

California Sur. Con estos análisis fue posible establecer que las ANP actuales no son suficientes para la protección de las especies endémicas que han sido reconocidas en este estudio, por lo que las áreas prioritarias propuestas resultan fundamentales como complemento de las ANP para así alcanzar la protección la mayor parte de las especies endémicas de la RDS.

Los métodos aquí utilizados para la selección de áreas de conservación han sido generalmente aplicados en forma separada obteniendo como resultado áreas que contienen únicamente la característica analizada por el método aplicado en cada caso. No obstante, el uso de todos ellos de forma integrada, tal como se aplicó en este estudio, genera resultados que optimizan la selección de áreas para las especies endémicas ya que identifican sitios con mayor prioridad de conservación; los sitios seleccionados para la protección de las cactáceas endémicas de la RDS consideran simultáneamente mayor riqueza, rareza y microendemismos, que a su vez son complementarios a las Áreas Naturales Protegidas actualmente designadas.

El uso de bases de datos biológicas y Sistemas de Información Geográfica resulta muy útil en la evaluación de áreas para conservación. Su uso reviste poca complejidad y generan resultados concretos sin mayor costo económico. No obstante, es necesario tener en cuenta que los resultados dependen de la calidad de los datos a usar, razón por la que en este trabajo se complementó la información con validación en campo. En este sentido es evidente que el sesgo y el esfuerzo de muestreo son importantes en los resultados.

Para futuros estudios es importante mejorar el conocimiento acerca de la distribución de las especies endémicas, especialmente aquellas con ámbitos de distribución más restringidos. Esto permitirá evaluar con mayor certeza su estatus de endemismo y mejorará también su protección. Este estudio acerca de la distribución de las especies de cactáceas endémicas de la Región del Desierto Sonorense constituye una primera aproximación para conocer las especies endémicas y su distribución en la región.

Algunas de las Áreas Prioritarias propuestas en este estudio ya habían sido delineadas por otros autores como sitios prioritarios para la conservación. Las

cactáceas endémicas resultaron ser un buen modelo para la selección de tales áreas prioritarias en la RDS ya que algunas de ellas ya habían sido propuestas por su riqueza florística, por los niveles de endemismo o bien por el conjunto de características biológicas o ecológicas que albergan. En este estudio se confirma la importancia de las áreas seleccionadas dado que presentan especies altamente restringidas en su distribución y que por lo tanto son muy vulnerables a la extinción ante las perturbaciones y, en casos extremos, a la pérdida del habitat.

La conservación y el manejo de los sitios cuyo acervo biológico o ecológico es relevante, urge en un contexto de desarrollo sustentable. Los recursos de los cuales la sociedad depende, son vulnerables a las actividades humanas y por lo tanto, la protección de estas áreas no es un acto de altruismo, si no que es una responsabilidad de la sociedad en su conjunto.

## 5. Bibliografía

- Anderson E. F. 2001. The cactus family. Timber Press, U.S.A. 776 p.
- Arias, S. y T. Terrazas. 2006. Análisis cladístico del género *Pachycereus* (Cactaceae) con caracteres morfológicos. *Brittonia* 58(3): 197-216.
- Bárcenas, R. 2004. The systematics of *Grusonia* F. Rchb. ex Britton y Rose. (*Opuntioideae*: Cactaceae). Ph. D., Thesis, The University of Reading.
- Benson, L. 1982. The cacti of the United States and Canada. Stanford University Press. U.S.A. 1044 p.
- Blum, W., M. Lange, W. Risher y J. Rutor. 1998. *Echinocereus*. Monographie. Bélgica. 495 p.
- Bravo-Hollis, H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991. Las cactáceas de México. Vol 1. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 743 p.
- Bravo-Hollis, H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991. Las cactáceas de México. Vol 2. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 404 p.
- Bravo-Hollis, H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991. Las cactáceas de México. Vol 3. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 643 p.
- Brooks, T. M. 2010. Conservation planning and priorities, pp. 199-219. En: Sohdi, N. y P. Ehrlich (Eds.). *Conservation Biology for All*. Oxford University Press, UK.
- Brooks, T., R. Mittermeier, G. da Fonseca, J. Gerlach, M. Hoffmann, J. Lamoreux, C. Mittermeier, J. Pilgrim y A. Rodrigues. 2006. *Global Biodiversity Conservation Priorities*. *Science* 313: 58-61.
- Brown, D. 1982. Sinaloan thorn scrub. *Desert Plants* 4: 101-105.
- Bullock, S., J. Salazar, J. Rebman y H. Riemann. 2008. Flora and vegetation of an isolated mountain range in the desert of Baja California. *The Southwestern Naturalist* 53(1): 61-73.
- Burkhart, E. 2004. *Flora of north America north of Mexico*. Volume 4. Caryophyllidae, in part: Caryophyllales. Oxford University Press. U.S.A. 1559 p.

- Búrquez, A. y A. Martínez-Yrizar. 1992. La necesidad de crear reservas ecológicas en el estado de Sonora, pp. 39-46. En: Moreno, J.L. (Ed.), *Ecología, recursos naturales y medio ambiente en Sonora*. Secretaría de Infraestructura Urbana y Ecología/El Colegio de Sonora. México.
- Búrquez, A., Martínez-Yrizar, A., Felger, R. y Yetman, D. 1999. Vegetation and habitat diversity at the southern edge of the Sonoran Desert, pp. 36-67. En: Robichaux, R. H. (Ed.), *Ecology of Sonoran Desert plants and plant communities*. University of Arizona, U.S.A.
- Búrquez, A. y A. Martínez-Yrizar. 2000. El desarrollo económico y la conservación de los recursos naturales, pp. 267-334. En: Almada Bay, I. (Ed.), *Sonora 2000 a debate: problemas y soluciones, riesgos y oportunidades*. Cal y Arena, México.
- Búrquez, A. y A. Martínez-Yrizar. 2007. Conservation and landscape transformation in northwestern Mexico, pp. 537-547. En: Felger, R.S. y Broyles, B (Eds.), *Dry borders: great natural reserves of the Sonoran Desert*. Utah University Press, U.S.A.
- Búrquez, A. y A. Martínez-Yrizar. 2010. Límites geográficos entre las selvas bajas caducifolias y matorrales espinosos y xerófilos: ¿Qué conservar?. En: G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinosa, J. Bezaury y R. Dirzo (Eds.). *Diversidad, Amenazas y Prioridades para Conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Cantú, C., G. Wright, M.J. Scott, y E. Strand. 2004. Assessment of current and proposed nature reserves of Mexico based on their capacity to protect geophysical features and biodiversity. *Biological Conservation* 115: 411-417.
- Carine, M., C. Humphries, I. Guma, J. Reyes-Betancort y A. Santos Guerra. 2009. Areas and algorithms: evaluating numerical approaches for the delimitation of areas of endemism in the Canary Islands archipelago. *Journal of Biogeography* 36: 593-611.
- Carwardine, J., K. Wilson, G. Ceballos, P. Ehrlich, R. Naidooll, T. Iwamurat, S. Hajkowicz y H. Possingham. 2008. Cost-effective priorities for global

- mammal conservation. *Proceedings of National Academy of Science* 105(32): 11446-11450.
- Casagrande, D., S. Roig-Junet y C. Szumik. 2009. Endemismo a diferentes escalas espaciales: un ejemplo con Carabidae (Coleóptera: Insecta) de América del Sur austral. *Revista Chilena de Historia Natural* 82(1): 17-42.
- Castellanos-Villegas, A., I. Bravo, G. Koch, J. Llano, D. López, R. Méndez, J. Rodríguez, R. Romo, T. Sisk y G. Yanes-Arvalo. 2009. Impactos ecológicos por el uso del terreno en el funcionamiento de ecosistemas áridos y semiáridos, pp. 157-186. En: F. Molina-F. y T.R. Van Devender (Eds.), *Diversidad Biológica de Sonora*. UNAM/CONABIO, México.
- Chape, S., J. Harrison, M. Spalding & I. Lysenko. 2005. Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets. *Philosophical Transactions of the Royal Society, Series B, Biological Sciences* 360: 443-455.
- Claus, A., K. Chan y T. Satterfield. 2010. The roles of people in conservation, pp. 262-283. En: Sodhi, N. y P. Elrich (Eds.). *Conservation Biology for All*. Oxford University Press, UK.
- Convenio sobre la Diversidad Biológica. 1992. Naciones Unidas. Río de Janeiro, Brasil. [URL: <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>]
- Cowling, R., R. Pressey, M. Rouget, y A. Lombard. 2003. A conservation plan for a global biodiversity hotspot the Cape Floristic Region, South Africa. *Biological Conservation* 112: 191-216.
- Delgadillo-Rodríguez, J. y M. Macías-Rodríguez. 2003. Componente florístico del desierto de San Felipe, Baja California, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 70: 45-65.
- Dicht, R. y A. Lüthy. 2005. *Coryphantha*. *Cacti of Mexico and Southern USA*. Springer, Berlin. 200 p.
- Dickman, C., S. Pimm y M. Cardillo. 2007. The pathology of biodiversity loss: the practice of conservation, pp. 1-15. En: Macdonald, W. y K. Service (Eds.), *Key Topics in Conservation Biology*. Blackwell Publishing Ltd., U.S.A.

- DOF. 2008. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación. Estados Unidos Mexicanos.
- Domínguez, M., S. Roig-Junent, J. Tassin, F. Ocampo y G. Flores. 2006. Areas of endemism of the Patagonian steppe: an approach based on insect distributional patterns using endemism analysis. *Journal of Biogeography* 33: 1527-1537.
- Eken, G., L. Bennun, T. Brooks, W. Darwall, L. Fishpool, M. Foster, D. Knox, P. Langhammer, P. Matiku, E. Radford, P. Salaman, W. Sechrest, M. Smith, S. Spector, y A. Tordoff. 2004. Key Biodiversity Areas as Site Conservation Targets. *BioScience* 54 (12): 1110-1118.
- Escalante, T., C. Szumik y J. Morrone. 2009. Areas of endemism of Mexican mammals: reanalysis applying the optimality criterion. *Biological Journal of the Linnean Society* 98: 468-478.
- Escalante T., G. Rodriguez-Tapia, C. Szumik, J. Morrone, y M. Rivas. 2010. Delimitation of the Nearctic region according to mammalian distributional patterns. *Journal of Mammalogy* 91(6): 1381-1388.
- Ezcurra, E., E. Peters, A. Búrquez y E. Mellink. 2002. Los Desiertos de Sonora y Baja California, pp. 315-333. En: Mittermeier, R., Mittermeier, C., Robles, P., Pilgrim, J., Fonseca, G., Brooks, T. y W. Konstant (Eds.), *Áreas silvestres: las últimas regiones vírgenes del planeta*. CEMEX (Monterrey), Conservation Internacional (Washington, D.C.) y Agrupación Sierra Madre (México, D.F.), México.
- Felger, R.S. 1999. The flora of Cañón de Nacapule: A desert-bounded tropical canyon near Guaymas, Sonora, Mexico. *Proceedings of the San Diego Society of Natural History* 35: 1-42.
- Felger, R., B. Wilder y J. Gallo-Reynoso. 2011. Floristic Diversity and Long-Term Vegetation Dynamics of San Pedro Nolasco Island, Gulf of California, Mexico. *Proceedings of the San Diego Society of Natural History* 43: 1-42.
- Figueroa, F. y V. Sánchez-Cordero. 2008. Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico. *Biodiversity Conservation* 17: 3223-3240.

- Frank, G., M. Ohr, M. Ohr, A. Ohr y R. Römer. 2001. Die Echinocereen der Baja California. 341 p.
- Gaston, K. J. 1994. *Rarity*. Chapman y Hall, UK. 205 p.
- Goettsch, B. y H. Hernández. 2000. Beta diversity and similarity among cactus assemblages in the Chihuahuan Desert. *Journal of Arid Environments* 65: 513-528.
- Goloboff, P. 2005. NDM/VNDM ver. 2.5. Programs for identification of areas of endemism. [URL: [www.zmuc.dk/public/phylogeny/endemism](http://www.zmuc.dk/public/phylogeny/endemism)]
- Gómez-Hinostrosa, C. y H. Hernández. 2000. Diversity, geographical distribution, and conservation of Cactaceae in the Mier y Noriega region, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 9: 403-418.
- Gómez-Pompa, A. y R. Dirzo. Coords. 1995. Reservas de la biosfera y otras áreas naturales protegidas de México. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (Edición digital: Conabio 2006). [URL:[www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/reservasBiosfera\\_Cont.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/reservasBiosfera_Cont.pdf)]
- Gorenflo, L. y K. Brandon. 2006. Key Human Dimensions of Gaps in Global Biodiversity Conservation. *BioScience* 56(9): 723-731.
- Hernández, H. 2006. *La vida en los desiertos mexicanos. La ciencia para todos*. Fondo de Cultura Económica, México. 188 p.
- Hernández H. y H. Godínez. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botanica Mexicana* 26: 33-52.
- Hernández, H. y R. Bárcenas. 1996. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: II. Biogeography and conservation. *Conservation Biology* 10(4): 1200-1209.
- Hernández, H., C. Gómez-Hinostrosa y B. Goettsch. 2004. Checklist of Chihuahuan Desert Cactaceae. *Harvard Papers in Botany* 9 (1): 51-68.
- Hernández, H., C. Gómez-Hinostrosa y G. Hoffmann. 2010. Is geographical rarity frequent among the cacti of the Chihuahuan Desert?. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 163-175.

- Hernández, H. M. y C. Gómez-Hinostrosa. 2011. Base de Datos de las Colecciones de Cactáceas de Norte y Centro América. Instituto de Biología, UNAM, México.
- Hernández, H. M. y C. Gómez-Hinostrosa. 2011. Mapping the Cacti of Mexico. Their geographical distribution based on referenced records. Hunt, D. (Ed). Succulent Plant Research VII, UK. 128 p.
- Hunt, D. 1999. Cactaceae checklist. Royal Kew Gardens. (Convención Internacional Sobre el Comercio de Especies Amenazadas de Flora y Fauna, CITES). UK. 315 p.
- Hunt, D. 2006. The new cactus lexicon. DH Books, Milborne Port, England. 373 p.
- Hunter, L. Y J. Gibbs. 2006. Fundamentals of conservation biology, 3rd Edition. Blackwell Publishing, U.S.A. 497 p.
- Jackson, S. y K. Gaston. 2008. Incorporating private lands in conservation planning: protected areas in Britain. *Ecological Applications* 18(4): 1050-1060.
- Kerr, J. 1997. Species richness, endemism, and the choice of areas for conservation. *Conservation Biology* 11(5): 1094-1100.
- Laguna, E., V. Deltoro, J. Pérez-Botella, P. Pérez-Rovira, I. Serra, A. Olivares y C. Fabregat. 2004. The role of small reserves in plant conservation in a region of high diversity in eastern Spain. *Biological Conservation* 119: 421-426.
- Lawler, J., D. White y L. Master. 2003. Integrating representation and vulnerability: two approaches for prioritizing areas for conservation. *Ecological Applications* 13(6): 1762-1772.
- León de la Luz, J., J. Rebman y T. Oberbauer. 2003. On the urgency of conservation on Guadalupe Island, Mexico: is it a lost paradise?. *Biodiversity and Conservation* 12: 1073-1082.
- León de la Luz, J. y A. Breceda. 2006. Using endemic plant species to establish critical habitats in the Sierra de La Laguna Biosphere Reserve, Baja California Sur, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 15:1043-1055.
- León de la Luz, J., J. Rebman, M. Domínguez-León y R. Domínguez-Cadena. 2008. The vascular flora and floristic relationships of the Sierra de La

- Giganta in Baja California Sur, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 29-65.
- Lindsay, G. E. 1996. *The Genus Ferocactus: Taxonomy and Ecology*, Termites Press, U.S.A. 444 p.
- Mace G., H. Possingham y N. Leader-Williams. 2007. Prioritizing choices in conservation, pp. 17-34. En: Macdonald, W. y K. Service (Eds.). *Key Topics in Conservation Biology*. Blackwell Publishing Ltd., U.S.A.
- Margules, C. y M. Usher. 1981. Criteria used in assessing wildlife conservation potential: a review. *Biological Conservation* 21: 79-109.
- Margules, C. y R. Pressey. 2000. Systematic conservation planning. *Nature* 405: 243-253.
- Martínez-Yrizar, A., R. Felger y A. Búrquez. 2010. Los ecosistemas terrestres: un diverso capital natural, pp: 129-156. En: Molina, F. y T.R. Van Devender (Eds.), *Diversidad Biológica de Sonora*. UNAM/CONABIO, México.
- Miller, R., J. Rodríguez, T. Aniskowicz-Fowler, C. Bambaradeniya, R. Boles, M. Eaton, U. Gärdenfors, V. Keller, S. Molur, S. Walker y C. Pollock. 2004. Extinction risk and conservation priorities. *Science* 28: 313-441.
- Mittermeier, R., C. Mittermeier, P. Robles – Gil, J. Pilgrim, G. Fonseca, T. Brooks y W. Konstant. 2002. *Áreas silvestres: las últimas regiones vírgenes del planeta*. CEMEX (Monterrey), Conservation Internacional (Washington, D.C.) y Agrupación Sierra Madre (México, D.F.), México. 573 p.
- Molina-Freaner y Van Devender. 2010. *Diversidad biológica de Sonora*. UNAM/CONABIO, México. 496 p.
- Morrone, J. 1994. On the identification of areas of endemism. *Systematic Biology* 43(3): 438-441.
- Murray-Smith, C., N. Brummitt, A. Oliveira-Filho, S. Bachman, J. Moat, E. Nic y E. Lucas. 2009. Plant Diversity hotspots in the Atlantic Coastal Forests of Brazil. *Conservation Biology* 23 (1): 151-163.
- Myers, N., R. Mittermeier, C. Mittermeier, G. da Fonseca y J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 854-858.

- Ortega-Baes, P. y H. Godínez –Álvarez. 2005. Global diversity and conservation priorities in the Cactaceae. *Biodiversity and Conservation* 15: 817-827.
- Paredes, R., T. Van Devender y R. Felger. 2000. Cactáceas de Sonora, México: su diversidad, uso y conservación. Instituto del medio ambiente del estado de Sonora, México. 143 p.
- Pilbeam, J. 1999. *Mammillaria*. The Cactus File Handbook. Cirio Publishing Services Ltd., England. 376 p.
- Pilbeam, J. y D. Bowdery. 2005. *Ferocactus*. British Cactus and Succulent Society, U.K. 116 p.
- Pimm, S. y C. Jenkins, C. 2010. Extinction and the practice of preventing them, pp. 181-198. En: Sohdi, N. y P. Ehrlich (Eds.). *Conservation Biology for All*. Oxford University Press, UK.
- Platnick, N. 1991. On areas of endemism. *Australian Systematic Botany* 4: 11-12.
- Prado, A., J. Hawkins, C. Yesson y R. Bárcenas. 2010. Multiple diversity measures to identify complementary conservation areas for the Baja California peninsular cacti. *Biological Conservation* 143: 1510-1520.
- Pressey, R. 1999. Applications of irreplaceability analysis to planning and management problems. *Parks* 9: 42-51.
- Pressey, R., C. Humphries, C. Margules, R. Vane-Wright y P. Williams. 1993. Beyond opportunism: Key principles for systematic reserve selection. *Trends in Ecology and Evolution* 8: 124-128.
- Pressey, R., I. Johnson y P. Wilson. 1994. Shades of irreplaceability: towards a measure of the contribution of sites to a reservation goal. *Biodiversity and Conservation* 3: 242-262.
- Pressey, B. y K. Taffs. 2001. Scheduling conservation action in production landscapes: priority areas in western New South Wales defined by irreplaceability and vulnerability to vegetation loss. *Biological Conservation* 100: 355-376.
- Primack, R. 2006. *Essentials of conservation biology*, 4th Edition. Sinauer Associates, U.S.A. 585 p.

- Riemann, H y E. Ezcurra. 2005. Plant endemism and natural protected areas in the peninsula of Baja California, Mexico. *Biological Conservation* 122:141-150.
- Riemann, H y E. Ezcurra. 2007. Endemic regions of the vascular flora of the peninsula of Baja California, Mexico. *Journal of Vegetation Science* 18: 327-336.
- Riddle, B., D. Hafne, L. Alexander y J. Jaeger. 2000. Cryptic vicariance in the historical assembly of a Baja California peninsular desert biota. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 97: 14438-14443.
- Rodrigues, A. y K. Gaston. 2001. How large do reserve networks need to be?. *Ecology Letters* 4: 602-609.
- Rzedowski, J. 1991. El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar. *Acta Botanica Mexicana* 15: 47-64.
- Rzedowski, J. 2006. *Vegetación de México*. 1ª Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 504 p.
- Santa Anna, H., Contreras-Medina, R. e I. Luna-Vega. 2009. Biogeographic analysis of endemic cacti of the Sierra Madre Oriental, Mexico. *Biological Journal of the Linnean Society* 97: 373-389.
- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana 059. 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*. Diciembre 30, 2010.
- Shreve, F. 1951. *Vegetation of the Sonoran Desert*. Carnegie Institution of Washington Publication N° 591. U.S.A. 192 p.
- Shreve, F. e I. Wiggins, 1964. *Vegetation and flora of the Sonoran Desert*. Stanford University Press, U.S.A. 840 p.
- Simberloff, D. 1988. The contribution of population and community biology to conservation science. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematic* 19: 473-511.
- Sisk, T., A. Launer, K. Switky y P. Ehrlich. 1994. Identifying Extinction Threats. Global analyses of the distribution of biodiversity and the expansion of the human enterprise. *BioScience* 44(9): 592-604.

- Soberón, J. y T. Peterson. 2004. Biodiversity informatics: managing and applying primary biodiversity data. *The Royal Society* 339: 689-698.
- Sodhi, N. y P. Ehrlich. 2010. *Conservation Biology for All*. Oxford University Press, UK. 344 p.
- Stoleson, S., R. Felger, G. Ceballos, C. Raish, M. Wilson y A. Búrquez. 2005. Recent history of natural resource use and population growth in northern Mexico, pp: 52-86. En: Cartron, L., Ceballos, G. y R. Felger (Eds.), *Biodiversity, ecosystems, and conservation in northern Mexico*. Oxford University Press, U.S.A.
- Szumik C., F. Cuezco, P. Goloboff y A. Chalup. 2002. An optimality criterion to determine areas of endemism. *Systematic Biology* 51: 806-816.
- Szumik C. y P. Goloboff. 2004. Areas of endemism. An improved optimality criterion. *Systematic Biology* 53: 968-977.
- Szumik, C., D. Casagrande y S. Roig-Juñet. 2006. Manual del programa NDM-VNDM. [URL: [www.zmuc.dk/public/phylogeny/endemism/Manual\\_VNDM.pdf](http://www.zmuc.dk/public/phylogeny/endemism/Manual_VNDM.pdf)]
- Taylor, N. 1985. The genus *Echinocereus*. Timber Press, U.S.A. 160p.
- Turner, R y D. Brown. 1982. Sonoran desert scrub, pp: 181-221. En: Brown, D. (Ed.), *Biotic communities of the American Southwest-United States and Mexico*. *Desert Plants* 4:181-221.
- Turner, R., J. Bowers y T. Burgess. 1995. *Sonoran desert plants: an ecological atlas*. The University of Arizona Press, U.S.A. 504 p.
- Urquiza-Haas, T., M. Kolb, P. Koleff, A. Lira-Noriega y J. Alarcón. 2009. Methodological approach to identify Mexico's terrestrial priority sites for conservation. *Gap Analysis Bulletin* 16: 60-70.
- Van Devender, T.R., R.S. Felger, M. Fishbein, F. Molina-Freaner, J.J. Sánchez-Escalante y A.L. Reina-Guerrero. 2010. Biodiversidad de las plantas vasculares, pp: 229-262. En: Molina, F. y T.R. Van Devender (Eds.), *Diversidad Biológica de Sonora*. UNAM/CONABIO, México.
- Vane-Wright, R., C. Humphries y P. Williams. 1991. What to protect-systematics and the agony of choice. *Biological Conservation* 55: 235-254.

- Velazco-Macías, C. y A. Flores. 2002 Listado preliminar de las cactáceas y agaváceas de la Sierra "El Viejo", Sonora, Región Prioritaria para la conservación en México. *Sida, Contributions to Botany* 20 (1): 349-354.
- Warren, A., M. Green, S. Herrmann, C. Roedern y U. Safirel. 2006. Challenges and opportunities-change, development, and conservation, pp: 90-109. En: Ezcurra, E. (Ed.). *Global Deserts Outlook*. Scanprint, Denmark.
- Wieczorec, J. 2001. Georeferencing guidelines. University of California, Berkeley, CA. [URL: [www://mainset.org/GeorefGuide.html](http://mainset.org/GeorefGuide.html)]
- Wilder, B., R. Felger y H. Romero. 2008. Succulent plant diversity of the Sonoran Islands, Gulf of California, Mexico. *Haseltonia* 14: 127-160.
- Wilson , K., R. Pressey, A. Newton, M. Burgman, H. Possingham y C. Weston. 2005. Measuring and incorporating vulnerability into conservation planning. *Environmental Management* 35(5): 527-543.
- Wilson, K., M. McBride, M. Bode y H. Possingham. 2006. Prioritising global conservation efforts. *Nature* 440: 337-340.

## 6. Apéndices

### Apéndice 1:

Listado de las especies endémicas de cactáceas de la RDS; categoría de riesgo de la especie en la NOM-059: A= Amenazada, Pr= Sujeta a Protección Especial; Pr=número de presencias; número de registros en la base de datos; número de celdas donde la especie está presente; valor de rareza específica; tipo de área en donde encuentra protección: ANP= Área Natural Protegida, APR= Área Prioritaria propuesta; (\*): Especies insulares.

ID	Género	Especie	NOM-059	Pr	Nº Registros	Nº Celdas	Rareza	Protección
1	Carnegiea	<i>Carnegiea gigantea</i> (Engelmann) Britton y Rose	A	72	84	41	0.359375	ANP, APR
2	Corynopuntia	<i>Corynopuntia invicta</i> (Brandegge) Knuth		11	14	9	0.859375	ANP, APR
3	Corynopuntia	<i>Corynopuntia kunzei</i> (Rose) Griffith		7	7	6	0.90625	ANP, APR
4	Corynopuntia	<i>Corynopuntia marenae</i> (Pars) Griffith		7	9	4	0.9375	APR
5	Cylindropuntia	<i>Cylindropuntia alcahes</i> (Weber) Knuth		53	54	25	0.609375	ANP, APR
6	Cylindropuntia	<i>Cylindropuntia arbuscula</i> (Engelmann) Knuth		12	13	12	0.8125	APR
7	Cylindropuntia	<i>Cylindropuntia bigelovii</i> (Engelmann) Knuth		24	26	22	0.65625	ANP, APR
8	Cylindropuntia	<i>Cylindropuntia cholla</i> (Weber) Knuth		43	50	23	0.640625	ANP, APR
9	Cylindropuntia	<i>Cylindropuntia fulgida</i> (Engelmann) Knuth		27	29	20	0.6875	APR
10	Cylindropuntia	<i>Cylindropuntia lindsayi</i> (Rebman) Rebman		8	8	8	0.875	ANP, APR
11	Cylindropuntia	<i>Cylindropuntia molesta</i> (Brandegge) Knuth		16	16	12	0.8125	ANP
12	Cylindropuntia	<i>Cylindropuntia munzii</i> (Wolf) Backeberg		2	2	2	0.96875	APR
13	Cylindropuntia	<i>Cylindropuntia sanfelipensis</i> (Rebman) Rebman		3	3	2	0.96875	APR
14	Cylindropuntia	<i>Cylindropuntia santamaria</i> (Baxter) Rebman*	Pr	1	1	1	0.984375	APR
15	Cylindropuntia	<i>Cylindropuntia tesajo</i> (Coulter) Knuth		7	7	5	0.921875	ANP, APR
16	Cylindropuntia	<i>Cylindropuntia thurberi</i> (Engelmann) Knuth		19	22	17	0.734375	APR
17	Cylindropuntia	<i>Cylindropuntia versicolor</i> (Coulter) Knuth		14	20	12	0.8125	ANP, APR

ID	Género	Especie	NOM-059	Oc.	Nº Registros	Nº Celdas	Rareza	Protección
18	Echinocereus	<i>Echinocereus barthelowanus</i> Britton y Rose*		1	2	1	0.984375	APR
19	Echinocereus	<i>Echinocereus brandegeei</i> (Coulter) K. Schum.		45	48	17	0.734375	ANP, APR
20	Echinocereus	<i>Echinocereus ferreirianus</i> Gates	P	5	7	5	0.921875	ANP
21	Echinocereus	<i>Echinocereus grandis</i> Britton y Rose*		3	3	1	0.984375	ANP
22	Echinocereus	<i>Echinocereus leucanthus</i> Taylor	Pr	4	4	1	0.984375	APR
23	Echinocereus	<i>Echinocereus nicholii</i> (Benson) Parfitt		1	2	1	0.984375	APR
24	Echinocereus	<i>Echinocereus pensilis</i> (Brandegee) Purpus		3	6	3	0.953125	ANP
25	Echinocereus	<i>Echinocereus sciurus</i> (Brandegee) Dams	Pr	9	11	4	0.9375	APR
26	Echinocereus	<i>Echinocereus scopulorum</i> Britton y Rose		10	15	6	0.90625	APR
27	Echinocereus	<i>Echinocereus websterianus</i> Lindsay*		1	1	1	0.984375	ANP
28	Ferocactus	<i>Ferocactus chrysacanthus</i> (Orcutt) Britton y Rose	A	2	2	2	0.96875	ANP
29	Ferocactus	<i>Ferocactus diguetii</i> (Weber) Britton y Rose*		10	20	4	0.9375	ANP
30	Ferocactus	<i>Ferocactus emoryi</i> (Engelmann) Orcutt	A	40	49	24	0.625	ANP, APR
31	Ferocactus	<i>Ferocactus fordii</i> (Orcutt) Britton y Rose		14	22	10	0.84375	ANP
32	Ferocactus	<i>Ferocactus gracilis</i> Gates		13	15	9	0.859375	ANP
33	Ferocactus	<i>Ferocactus johnstonianus</i> Britton y Rose*	Pr	2	2	1	0.984375	ANP
34	Ferocactus	<i>Ferocactus peninsulæ</i> (Weber) Britton y Rose	A	51	49	28	0.5625	ANP, APR
35	Grusonia	<i>Grusonia altariensis</i> Bárcenas, sp. nov., non divulgata.		3	3	2	0.96875	ANP
36	Lophocereus	<i>Lophocereus gatesii</i> Jones		5	5	3	0.953125	APR
37	Lophocereus	<i>Lophocereus schottii</i> (Engelmann) Britton y Rose	Pr	156	180	64	0	ANP, APR
38	Mammillaria	<i>Mammillaria albicans</i> (Britton y Rose) Berger	Pr	20	37	7	0.890625	ANP, APR
39	Mammillaria	<i>Mammillaria armillata</i> Brandegee		11	21	6	0.90625	ANP, APR
40	Mammillaria	<i>Mammillaria blossfeldiana</i> Bödeker	Pr	3	5	3	0.953125	ANP
41	Mammillaria	<i>Mammillaria boolii</i> Lindsay	Pr	2	2	1	0.984375	APR
42	Mammillaria	<i>Mammillaria brandegeei</i> (Coulter) Brandegee	Pr	6	7	4	0.9375	ANP
43	Mammillaria	<i>Mammillaria capensis</i> (Gates) Craig	Pr	5	8	4	0.9375	ANP, APR

ID	Género	Especie	NOM-059	Oc.	Nº Registros	Nº Celdas	Rareza	Protección
44	Mammillaria	<i>Mammillaria cerralboa</i> (Britton y Rose) Orcutt*	Pr	3	5	1	0.984375	ANP
45	Mammillaria	<i>Mammillaria dioica</i> Brandegee	Pr	39	46	21	0.671875	ANP, APR
46	Mammillaria	<i>Mammillaria evermanniana</i> (Britton y Rose) Orcutt*		4	9	4	0.9375	ANP
47	Mammillaria	<i>Mammillaria halei</i> Brandegee	Pr	5	7	3	0.953125	APR
48	Mammillaria	<i>Mammillaria hutchisoniana</i> (Gates) Backeberg y Knuth		3	3	3	0.953125	ANP
49	Mammillaria	<i>Mammillaria insularis</i> Gates	Pr	3	6	3	0.953125	ANP
50	Mammillaria	<i>Mammillaria johnstonii</i> (Britton y Rose) Orcutt	Pr	5	7	4	0.9375	APR
51	Mammillaria	<i>Mammillaria mainiae</i> Brandegee		2	5	2	0.96875	APR
52	Mammillaria	<i>Mammillaria miegiana</i> Earle	Pr	1	1	1	0.984375	NP
53	Mammillaria	<i>Mammillaria multidigitata</i> Lindsay*	Pr	1	6	1	0.984375	ANP
54	Mammillaria	<i>Mammillaria peninsularis</i> (Britton y Rose) Orcutt	Pr	2	6	2	0.96875	APR
55	Mammillaria	<i>Mammillaria pertophila</i> Brandegee		5	5	4	0.9375	ANP, APR
56	Mammillaria	<i>Mammillaria phitauiana</i> (Baxter) Backeberg		2	3	2	0.96875	ANP, APR
57	Mammillaria	<i>Mammillaria pondii</i> Greene	Pr	12	15	10	0.84375	ANP
58	Mammillaria	<i>Mammillaria poselgeri</i> Hild		42	52	18	0.71875	ANP, APR
59	Mammillaria	<i>Mammillaria schumannii</i> Hild		9	13	6	0.90625	APR
60	Mammillaria	<i>Mammillaria sonorensis</i> Craig		2	2	2	0.96875	NP
61	Mammillaria	<i>Mammillaria tayloriorum</i> Glass y Foster*	Pr	2	2	1	0.984375	ANP
62	Mammillaria	<i>Mammillaria thornberi</i> Orcutt	Pr	5	7	5	0.921875	ANP, APR
63	Opuntia	<i>Opuntia bravoana</i> Baxter	Pr	7	8	3	0.953125	ANP, APR
64	Opuntia	<i>Opuntia pycnantha</i> (Engelmann) Coulter		5	7	4	0.9375	APR
65	Pachycereus	<i>Pachycereus pringlei</i> (Watson) Britton y Rose		88	110	43	0.328125	ANP, APR
66	Peniocereus	<i>Peniocereus johnstonii</i> Britton y Rose		9	9	5	0.921875	ANP
67	Peniocereus	<i>Peniocereus marianus</i> (Gent) Sánchez-Mejorada	Pr	14	19	8	0.875	ANP, APR
68	Peniocereus	<i>Peniocereus striatus</i> (Brandegee) Buxbaum		63	72	39	0.390625	ANP, APR
69	Stenocereus	<i>Stenocereus alamosensis</i> (Coulter) Gibson y Horak		40	52	19	0.703125	ANP, APR

ID	Género	Especie	NOM-059	Oc.	Nº Registros	Nº Celdas	Rareza	Protección
70	Stenocereus	<i>Stenocereus eruca</i> (Brandegge) Gibson y Horak	A	17	22	6	0.90625	APR
71	Stenocereus	<i>Stenocereus gummosus</i> (Brandegge) Gibson y Horak		84	99	37	0.421875	ANP, APR
72	Stenocereus	<i>Stenocereus thurberi</i> (Engelmann) Buxbaum		116	129	53	0.171875	ANP, APR

Apéndice 2. Números identificadores y nombres de las celdas más importantes mencionadas en el trabajo.

Nº de la celda	Nombre de la celda
1	Sonoyta
2	San Felipe norte
3	Altar
4	El Rosario
5	Moctezuma
6	Isla Ángel de la Guarda
7	San Borja
8	Islas Salsipuedes, San Lorenzo, San Esteban
9	La Colorada
10	El Choyudo
11	San Nicolás
12	Isla San Pedro Nolasco
13	Guaymas
14	Punta Abreojos
15	Isla Magdalena
16	Puerto San Carlos
17	Médano Amarillo
18	Isla San José
19	Aguajito El Moreno
20	La Paz
21	Isla Cerralvo
22	El Triunfo
23	Bahía de los Muertos
24	Todos Santos
25	San José del Cabo
26	Cabo San Lucas