

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Instituto de Ciencias Biomédicas

Departamento de Ciencias Veterinarias

Maestría en Ciencia Animal

**“Análisis de integridad ecológica de áreas ribereñas del
Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa
Elena, Chihuahua”**

Tesis para obtener el grado de
Maestro en Ciencia Animal

María Cristina Pérez Amezola

“Becada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología”

**Bajo la Dirección de la
Dra. Ana Bertha Gatica Colima**

Ciudad Juárez, Chihuahua, junio de 2019

APROBACIÓN DE LA TESIS

Análisis de integridad ecológica de áreas ribereñas del Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena, reporte de investigación preparado por María Cristina Pérez Amezola como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIA ANIMAL

ha sido aprobado y aceptado por:

Dra. Ana Gatica Colima
DIRECTORA DE TESIS

Dr. Jesús Manuel Martínez Calderas
ASESOR

Dra. Cuauhcihuatl Vital García
ASESOR

Dra. Zarahelia Carlo Rojas
ASESOR

Dra. Martha Patricia Olivas Sánchez
ASESOR

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

ANÁLISIS DE INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE ÁREAS RIBEREÑAS DEL ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA CAÑÓN DE SANTA ELENA, CHIHUAHUA

Se permite el uso académico de información contenida en esta tesis, siempre y cuando se otorgue el crédito correspondiente al autor. Para la reproducción parcial o total de este documento con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita de las autoridades que avalan esta tesis.

Dr. José María Carrera Chávez

COORDINADOR DE MAESTRÍA EN CIENCIA ANIMAL

Dr. Ramón Rivera Barreno

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS VETERINARIAS

C. D. Salvador Nava Martínez

DIRECTOR DEL INSTITUTO DE CIENCIAS BIOMÉDICAS

DEDICATORIA

A mis padres,

a mi abue,

al conocimiento,

y a la naturaleza.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT, por el apoyo otorgado durante el periodo de esta maestría.

A la Dra. Ana Gatica, por aceptarme como tesista y apoyarme incondicionalmente durante el proyecto.

A la oficina de CONANP Área Natural Protegida Cañón de Santa Elena, por todo el apoyo brindado.

A los Biólogos Daysi Cuevas, Laura Heredia, Jesús Martínez, Álvaro Torres y César Ponce por su apoyo en actividades de campo.

RESUMEN

ANÁLISIS DE INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE ÁREAS RIBEREÑAS DEL ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA CAÑÓN DE SANTA ELENA, CHIHUAHUA

Por:
María Cristina Pérez Amezola.

El conocer la integridad ecológica de un área en específico es clave para la toma de decisiones acerca de su conservación e implementación de acciones de manejo. La utilización del índice de integridad biológica, el cual emplea el monitoreo de indicadores biológicos y su relación con actividades de producción, es una forma de evaluar dicha integridad. El objetivo del presente estudio fue analizar la integridad ecológica de tres áreas ribereñas del Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena. Se diseñó un índice de integridad biológica estructurado por ocho niveles relacionados con la composición y estructura cada área y la función biológica de las especies de cuatro indicadores biológicos (aves, peces, mamíferos y vegetación ribereña) ahí presentes. Se realizaron cuatro salidas a campo en las cuales se llevó a cabo un monitoreo biológico utilizando métodos específicos para cada grupo. La primera área de estudio, Cañón de San Carlos presentó una integridad ecológica de 67 puntos; la segunda área, Nuevo Lajitas presentó una de 61, y la tercera, Cañón de San Antonio presentó 63 puntos. Las tres áreas luego del análisis resultaron como hábitats con buena integridad ecológica. Este estudio promueve la conservación de la biodiversidad y ayudará a detectar y priorizar amenazas contra la misma. Lo cual impulsará el establecimiento de acciones y actividades prioritarias de manejo sobre la vida silvestre.

Palabras clave: Índice de integridad biológica; Integridad ecológica; Área de Protección Flora y Fauna Cañón de Santa Elena.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Integridad ecológica	3
2.2 Índice de integridad biológica.....	4
2.3 Uso del índice de integridad biológica en relación con la integridad ecológica	4
2.4. Indicadores biológicos utilizados en la evaluación de integridad ecológica.....	5
2.4.1 Aves	6
2.4.2 Mamíferos terrestres	7
2.4.3 Peces.....	7
2.4.4 Vegetación de tipo ribereña.....	7
2.5 Ecología de las áreas ribereñas	7
3. HIPÓTESIS.....	9
4. OBJETIVO GENERAL.....	9
4.1 Objetivos específicos	9
5. MATERIALES Y MÉTODOS	10
5.1 Diagrama de flujo.....	10
5.2 Descripción del área de estudio.....	11
5.2.1 Áreas ribereñas de estudio	12
5.3 Diseño del índice de integridad biológica	13
<i>Nivel 1. Grupo biológico.....</i>	<i>14</i>
<i>Nivel 2. Riqueza de especies.....</i>	<i>15</i>
<i>Nivel 3. Hábitat utilizado por las especies.....</i>	<i>16</i>
<i>Nivel 4. Especies abundantes</i>	<i>17</i>
<i>Nivel 5. Grado de vulnerabilidad de las especies.....</i>	<i>18</i>
<i>Nivel 6. Grado de riesgo de las especies.....</i>	<i>19</i>
<i>Nivel 7. Exigencias primarias de hábitat</i>	<i>20</i>
<i>Nivel 8. Especies invasoras</i>	<i>21</i>
5.4 Monitoreo biológico.....	22
5.5.1 Aves.....	22
5.5.2 Mamíferos terrestres	22

5.5.3 Peces.....	23
5.5.4 Vegetación ribereña	24
5.5 Análisis de datos	24
5.6 Procedimiento de uso de la matriz del índice de integridad biológica	25
6.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
6.1 Riqueza de las áreas de estudio.....	27
6.2 Hábitat utilizado por las especies.....	29
6.3 Especies abundantes.....	31
6.4 Grado de vulnerabilidad de las especies	32
6.5 Grado de riesgo de las especies	34
6.6 Exigencias primarias de hábitat	35
6.7 Presencia de especies invasoras.....	36
6.8 Análisis de integridad ecológica.....	39
7. CONCLUSIONES.....	45
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
9. ANEXOS	53

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Diseño de la matriz del índice de integridad biológica.	14
Cuadro 2. Categorías de análisis en el nivel 2 del índice de integridad biológica.	16
Cuadro 3. Categorías de análisis en el nivel 3 del índice de integridad ecológica.....	17
Cuadro 4. Categorías de análisis en el nivel 4 del índice de integridad ecológica.....	18
Cuadro 5. Categorías de análisis en el nivel 5 del índice de integridad ecológica.....	19
Cuadro 6. Categorías de análisis en el nivel 6 del índice de integridad ecológica.....	20
Cuadro 7. Categorías de análisis en el nivel 8 del índice de integridad ecológica.....	22
Cuadro 8. Ponderación en el nivel 1 del IBI de los indicadores biológicos atribuida a su importancia ecológica y valor en cada IBI.	28
Cuadro 9. Representatividad y valor de los indicadores biológicos en el nivel 2 del IBI.	29
Cuadro 10. Valores de los indicadores biológicos en el nivel 3 del IBI del Cañón de San Carlos.	30
Cuadro 11. Valores de los indicadores biológicos en el nivel 3 del IBI de Nuevo Lajitas.	30
Cuadro 12. Valores de los indicadores biológicos en el nivel 3 del IBI del Cañón de San Antonio.	30
Cuadro 13. Especies abundantes utilizando la serie de números de Hill y valores de los indicadores biológicos en el nivel 4 del IBI del Cañón de San Carlos.	31
Cuadro 14. Especies abundantes utilizando la serie de números de Hill y valores de los indicadores biológicos en el nivel 4 del IBI de Nuevo Lajitas.	32
Cuadro 15. Especies abundantes utilizando la serie de números de Hill y valores de los indicadores biológicos en el nivel 4 del IBI del Cañón de San Antonio.....	32
Cuadro 16. Presencia de especies en grado de vulnerabilidad en las tres áreas de estudio y su valor en el nivel 5 de los IBI.	33
Cuadro 17. Presencia de especies en grado de riesgo en las tres áreas de estudio y su valor en el nivel 6 de los IBI.....	35
Cuadro 18. Categorías de análisis en el nivel 7 del IBI junto con el valor ponderado por los especialistas.	37
Cuadro 19. Valores de las exigencias primarias de los indicadores biológicos en cada IBI.	38
Cuadro 20. Presencia/ausencia de especies invasoras en las áreas de estudio y su valor en los IBI.	39

Cuadro 21. Matriz con valores máximos para los indicadores biológicos.	40
Cuadro 22. Análisis de integridad ecológica del Cañón de San Carlos.	41
Cuadro 23. Análisis de integridad ecológica de Nuevo Lajitas.	42
Cuadro 24. Análisis de integridad ecológica del Cañón de San Antonio.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categorías de integridad biológica para áreas ribereñas del APFFCSE	40
--	----

ÍDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las tres áreas ribereñas de estudio dentro del Área de Protección Flora y Fauna Cañón de Santa Elena	13
--	----

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo sustentable requiere preservar la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas naturales, es decir, su integridad. La integridad ecológica es el concepto más completo e incluyente que informa sobre el nivel de conservación de los ecosistemas (Giraldo-López *et al.*, 2016). Éste considera los componentes abióticos, la biodiversidad y los procesos ecológicos que ocurren en un área determinada. A nivel ecosistémico, la integridad ecológica existe cuando la estructura, composición y función de un área determinada no han sido afectadas debido al estrés causado por las actividades humanas. Por lo tanto, a estas áreas se les considera con cierta condición original o una naturaleza básica (Vélez-Restrepo y Gómez-Sal, 2008).

En la actualidad México no cuenta con un método sistematizado de colecta de datos de integridad ecológica. Sin embargo, como una aproximación, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) cuenta con un Sistema de Monitoreo Biológico enfocado a especies emblemáticas a nivel regional (Equihua *et al.*, 2014). Los resultados obtenidos por este método pudiesen ser tomados en cuenta para la elaboración de un índice de integridad ecosistémica. Como ejemplo de éstos, se encuentra el Índice de Integridad Biológica (conocido como IBI, por sus siglas en inglés). Su objetivo es evaluar la integridad ecológica utilizando datos de indicadores biológicos, a través del monitoreo y su interacción con actividades humanas (Whitacre, 1997). Los indicadores utilizados en este índice son grupos taxonómicos elegidos por su capacidad para identificar un cambio en la calidad e integridad de un hábitat (Carignan y Villard, 2002; Azevedo-Ramos *et al.*, 2005; Giraldo-López *et al.*, 2016). Con base a estas diferencias se evalúa la proporción a la cual la biota se ha desviado de un estado original o prístino del sistema (Córdova-Ávalos *et al.*, 2009).

El Área de Protección Flora y Fauna Cañón de Santa Elena (APFFCSE), está localizada en los municipios de Ojinaga y Manuel Benavides en el estado de Chihuahua, México. Esta área cuenta con flora y fauna en categoría de riesgo como amenazadas, en peligro de extinción y sujetas a protección especial. Además, cuenta con riqueza geológica e hidrológica y un contraste de ecosistemas, lo cual es dado por la altitud, presentando paisajes desde bosques de pino-encino, matorral desértico micrófilo e inerte, pastizal y vegetación ribereña. Estas características le confieren a esta área interés por su conservación de su biodiversidad desértica (CONANP, 2013).

El 7 de noviembre de 1994 el Cañón de Santa Elena fue decretada como área protegida, desde entonces se ha buscado aunar su conservación con alternativas de producción que aseguren su sustentabilidad e integridad. Lo cual, podría ser evaluado de manera numérica al utilizar un IBI y compararlo a través del tiempo. El objetivo de este trabajo fue diseñar un IBI que utilice la

composición, estructura y función biológica de las áreas ribereñas. Éste debe obtener la integridad ecológica actual de las mismas, lo cual representará la integridad que se busque mantener o aumentar luego de utilizar esta metodología de forma sistemática. Lo cual ayudará a establecer acciones y actividades prioritarias de manejo sobre la vida silvestre, e impulsarán la conservación de la diversidad biológica y genética de las especies existentes en el APFFCSE. Se debe considerar que esta evaluación puede ser aplicable en otras áreas con características similares o no, sólo modificando el IBI al utilizar indicadores biológicos de acuerdo con el área de estudio.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Integridad ecológica

La integridad ecológica se refiere al más completo e incluyente de los conceptos que informan sobre el nivel de conservación de los ecosistemas (Angermeier y Karr, 1994; Giraldo-López *et al.*, 2016), el cual considera los componentes abióticos, la biodiversidad y los procesos ecológicos de un área determinada. Se dice que un ecosistema cuenta con “integridad ecológica” cuando su estructura, composición y función no están afectadas por el estrés de las actividades humanas, por lo cual, es considerada una región con una cierta condición original o una naturaleza básica (Vélez-Restrepo y Gómez-Sal, 2008; Parks Canada, 2017). Desde 1972 el concepto de “integridad” ha aparecido en un gran número de documentos normativos y legislativos, como lo son la Ley de Agua Limpia de Estados Unidos y la Constitución de Brasil (Westra, 1995).

En 1992, en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), luego de considerar la gravedad de la destrucción acelerada e imparable de los ambientes naturales, se llegó a un acuerdo internacional. Con el que comenzó una serie de programas, proyectos y manifestaciones de interés por conocer la diversidad biológica y tratar de establecer, si existe una relación directa entre los ritmos de perturbación de los ecosistemas naturales y la pérdida de biodiversidad; aunque cada vez se reconoce más el fenómeno de cambio global, como una consecuencia de ello (Peralta, 2007; Córdova-Ávalos *et al.*, 2009).

En 1998, se creó el Panel independiente sobre la Integridad Ecológica de los Parques Nacionales de Canadá (*Independent Panel on the Ecological Integrity of Canada's National Parks*), el cual evaluó las fortalezas y debilidades de dichos parques, con la finalidad de mantener la integridad ecológica; proporcionando asesoramiento y creando recomendaciones sobre la mejor manera de realizarlo. Dicho Panel en el año 2000, concluyó que los parques nacionales estaban amenazados por factores de estrés y que, a menos que se adoptaran medidas apropiadas, el deterioro en todo el sistema continuaría (Parks Canada Agency, 2000).

Miranda (2005) mencionó que el análisis de la integridad ecológica proporciona varias ventajas al incorporar criterios de rigor científico a la evaluación y valoración de área. Estos incluyen mejorar el proceso de planificación para la conservación, ayudar a la identificación y categorización de amenazas, promover el priorizar ciertas acciones de manejo y selección de indicadores adecuados que sustenten técnicamente la creación de nuevas áreas protegidas.

En mayo de 2015 en el portal electrónico de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) fue publicada la nota sobre el primer taller que se llevó a cabo sobre

resiliencia social y ecológica. En el cual, se propuso la búsqueda de la integridad ecológica y social, como uno de los principios a integrar dentro del sistema de las Áreas Naturales Protegidas. Esto con el fin de aumentar la capacidad de los sistemas al soportar diversos impactos y no frenar su desarrollo (CONANP, 2015).

2.2 Índice de integridad biológica

En 1981, Karr publicó un sistema de evaluación multimétrico denominado índice de integridad biológica (IBI) para dar un significado empírico a los objetivos de restaurar la integridad. Con este fin, utilizó comunidades de peces como indicadores y argumentó que, al monitorear cuidadosamente estas comunidades, se puede evaluar de forma rápida, efectiva y económica la integridad biológica del sistema acuático.

Los IBI's fueron originalmente aplicados en la evaluación de la condición biológica de los arroyos en la región norte-centro de los Estados Unidos. Dicho índice se basa en los patrones de presencia de varias especies, al incorporar datos sobre la composición, abundancia y diversidad de especies, composición trófica, densidad poblacional, tolerancia a los disturbios antropogénicos y la salud de los individuos para evaluar la integridad de las comunidades (Whitacre, 1997). A dichos atributos se les confiere un puntaje dentro de la matriz del IBI, el cual resulta de la suma de puntuaciones extraídas del ensamblaje de especies, poblaciones o comunidades evaluadas (Bryce, 2006). Es así como el IBI, basado en evidencias obtenidas a través de un monitoreo biológico y análisis espaciotemporal, mide la proporción en la cual la biota se ha desviado de un estado original o prístino del sistema (Córdova-Ávalos *et al.*, 2009).

2.3 Uso del índice de integridad biológica en relación con la integridad ecológica

En el año de 1994 Angermeier y Karr describen el concepto de integridad ecológica y mencionan que este concepto junto con el IBI se ha aplicado más en los sistemas acuáticos. Sin embargo, las conclusiones se podrían aplicar igualmente a los sistemas terrestres, desarrollando dicho índice con indicadores apropiados. Desde entonces los IBI han sido modificados y utilizados en otras regiones, ecosistemas y taxa.

Whitacre (1997) utilizó este índice, para desarrollar un programa de monitoreo ecológico en la Reserva de la Biósfera Maya. Diseñó un IBI utilizando cinco indicadores biológicos (aves, mariposas, anfibios, plantas y mamíferos) para obtener la integridad ecológica del área natural protegida.

Jones (2005), presentó un IBI para arroyos de primer orden en el suroeste de Montana basado en la vegetación. En este estudio se eligieron ocho métricas vegetales sensibles para estimar los impactos provocados por el hombre. Las métricas fueron: cobertura relativa de gramíneas, cobertura relativa de gramíneas exóticas, cobertura relativa de hidrófitas, índice de calidad florística basado en la cobertura vegetal, índice de estabilidad y densidad abundancia absoluta y relativa de sauces. Todo esto con base en el estrés provocado por el pastoreo.

En 2006, Bryce publicó un índice de integridad de aves, en las Montañas Azules del este de Oregon, EUA. En el cual evaluó el impacto de actividades antropogénicas en 28 arroyos sobre el ensamblaje de este grupo. Las métricas utilizadas en este estudio estuvieron relacionadas con la riqueza taxonómica de las aves, la tolerancia o intolerancia a las perturbaciones humanas, las preferencias dietéticas, las técnicas de forrajeo y las estrategias de anidación. Se esperaba éstas fueran afectadas positiva o negativamente por las actividades humanas en la región. La respuesta de éstas fue evaluada contra un índice de alcance y perturbación de cuencas hidrográficas que incluyó el uso de suelo, la cobertura vegetal, la cobertura ribereña, la presencia de carreteras, impactos mineros y porcentaje de área de tala. Este índice respondió claramente a las diversas condiciones ribereñas y a los efectos acumulativos de las perturbaciones.

Córdova-Ávalos *et al.* (2009), publicó un IBI avifaunístico en la Reserva de Biósfera Pantanos de Centla. Este índice utilizó información obtenida en campo sobre la riqueza de aves, la cual fue comparada con la presencia de actividades antropogénicas en el área. Este trabajo mostró la relación inversa entre los valores obtenidos en el IBI y el índice de perturbación, es decir, a mayor perturbación, menor valor del IBI.

Recientemente, Giraldo-López *et al.* (2016), utilizaron el IBI con siete indicadores biológicos (plantas, mamíferos, anfibios, aves, reptiles, peces y moluscos) para evaluar la integridad ecológica de fragmentos de bosque seco tropical en el departamento de Caldas, Colombia con diferente impacto antropogénico. La zona de bosque resultó con mayor integridad en comparación con las zonas donde existe la presencia de actividad minera y silvopastoril sin manejo.

2.4. Indicadores biológicos utilizados en la evaluación de integridad ecológica

Noss (1990) menciona características que un indicador debe cumplir para poder ser monitoreado: 1) ser suficientemente sensible para detectar señales de cambio, 2) estar distribuido sobre una amplia área geográfica, 3) que al ser medidos se puedan obtener valores continuos sobre un amplio rango de estrés, 4) que sea factible implementar en él métodos relativamente independientes del tamaño de la muestra, 5) que las mediciones, colectas, experimentos y/o

cálculos que se le apliquen sean fáciles y económicos y 6) que su estudio permita diferenciar entre ciclos naturales y tendencias.

En 2002 Browder *et al.*, argumenta a la segunda característica que Noss (1990) plantea que un organismo o grupo de organismos considerados como indicadores, deben estar asociados con un hábitat particular y/o estar presentes a través de un gradiente amplio de alteraciones antrópicas, desde paisajes bien conservados hasta zonas metropolitanas, y plantea otras tres características: 1) los indicadores deben vivir pocos años, de manera que los cambios en la composición de las comunidades producidos por alteraciones del medio puedan manifestarse en relativamente poco tiempo, 2) ser un grupo bien estudiado taxonómicamente, del que se conozca la biología de las especies y 3) deben establecerse asociaciones claras con los hábitat, por lo que constituyen una herramienta de gran valor predictivo del efecto producido por el nivel de alteración antrópica.

Existen diferentes indicadores biológicos que permiten identificar cambios en la calidad e integridad biológica de un hábitat. Por tal motivo, se han utilizado especies indicadoras para determinar el grado de alteración de la estructura y función de los ecosistemas. La finalidad es proponer acciones de gestión que puedan mejorar la integridad ecológica. Plantas, escarabajos, arañas, invertebrados bentónicos, mariposas, anfibios, peces, aves y mamíferos, son algunos de los grupos biológicos que se han utilizado como indicadores (Whitacre, 1997; Carignan y Villard, 2002; Azevedo-Ramos *et al.*, 2005; Córdova-Ávalos *et al.*, 2009; Giraldo-López *et al.*, 2016).

Un plan integral de conservación debe incluir medidas de indicadores a varias escalas. Debe incorporar especies de diferentes gremios alimenticios, garantizando que la integridad se preserve en todos los niveles, incluyendo especies, población, paisaje y ecosistema (Carignan y Villard, 2002). De otra forma, se estaría evaluando solo un rango estrecho de condiciones ecológicas y no proporcionaría la información necesaria para interpretar el comportamiento o respuesta de un ecosistema completo (Giraldo-López *et al.*, 2016).

2.4.1 Aves

Este grupo ha sido destacado por numerosos estudios como indicadores de tipo ecológico, útiles para monitorear la calidad de los hábitats y sus cambios por efecto de la perturbación antropogénica (González-Valdivia *et al.*, 2011). La presencia de algunas especies de aves suele ser sensible a cambios mínimos en su entorno (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2014).

2.4.2 Mamíferos terrestres

Los mamíferos suelen ser indicadores de perturbaciones en ecosistemas acuáticos (Gregory *et al.*, 1991).

Rabeil (2009) menciona que los mamíferos de gran tamaño corporal requieren de amplio espacio y diversos requerimientos de hábitat, por lo cual indican conectividad y variedad de hábitats; los carnívoros, son clave para determinar el nivel de salud del ecosistema debido a la necesidad de vastas áreas y un número adecuado de presas para su supervivencia; se han utilizado especies grandes como indicadores para evaluar el impacto de las perturbaciones antrópicas mientras que los herbívoros, juegan un papel crucial en la estructura y distribución espacial de las comunidades vegetales.

2.4.3 Peces

El empleo de estos organismos en el monitoreo de los ecosistemas acuáticos está muy extendido, debido principalmente a que en general se tiene amplio conocimiento de este grupo (De la Lanza *et al.*, 2000).

Los peces son componentes altamente visibles y sensibles de los ecosistemas de agua dulce, responden a cambios en los factores abióticos, como la calidad del agua y del hábitat, y a los bióticos, como la explotación del hombre y la adición de especies y además permiten evaluar la estructura y función de la comunidad a diferentes niveles tróficos (Pérez *et al.*, 2008).

2.4.4 Vegetación de tipo ribereña

Este tipo de vegetación participa en la retención de lo nitrógeno y fósforo, sombrea el agua y reducen su temperatura, reduce los riesgos de erosión y está conformada principalmente por herbáceas, las cuales son profusamente ramificadas, lo que confiere mayor estabilidad al suelo del área (Pérez *et al.*, 2008).

La vegetación ribereña estabiliza las orillas en los sistemas acuáticos, proveyendo hojarasca y madera que funciona como sustrato y sostén para una amplia red de subsistencia de ensamblaje de peces y fauna terrestre, promoviendo su hábitat y manteniendo las cadenas tróficas (Meli *et al.*, 2015).

2.5 Ecología de las áreas ribereñas

El microclima húmedo de la zona riparia o ribereña y la humedad del suelo, creados tanto por el afloramiento de agua como por el agua del terreno cercana la superficie, tiende a hacerlos

hábitats favorables para muchas especies vegetales y animales. Una zona ribereña designa el área de transición, pero también de interacciones entre los medios terrestre y acuático (Granados-Sánchez *et al.*, 2006).

La riqueza de plantas en estas áreas varía en cuanto al tiempo y espacio a lo largo de los márgenes de los ríos y arroyos, esto debido a la adaptación a las temporadas de inundaciones y sequías, así como a las fluctuaciones de nutrientes que varían a lo largo del cuerpo de agua. Esta variación se observa de manera marginal y lateral, ya que las plantas se distribuyen según sus formas de vida desde el cauce y hacia tierra firme, dependiendo de la disponibilidad de agua. En cuanto a la diversidad faunística, esta probablemente excede la diversidad vegetal, ya que se ha observado que cerca del 70% de los vertebrados tienen contacto con este ecosistema, utilizándolo en algún momento de sus ciclos de vida (Meli *et al.*, 2015).

3. HIPÓTESIS

Se espera que el monitoreo de los indicadores biológicos (aves, peces, mamíferos terrestres y vegetación de tipo ribereña) brinde información necesaria sobre la composición y estructura de las áreas ribereñas y la función biológica de las especies ahí presentes, para obtener la integridad ecológica de las áreas de estudio.

4. OBJETIVO GENERAL

Analizar la integridad ecológica de tres áreas ribereñas del Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena utilizando el índice de integridad biológica.

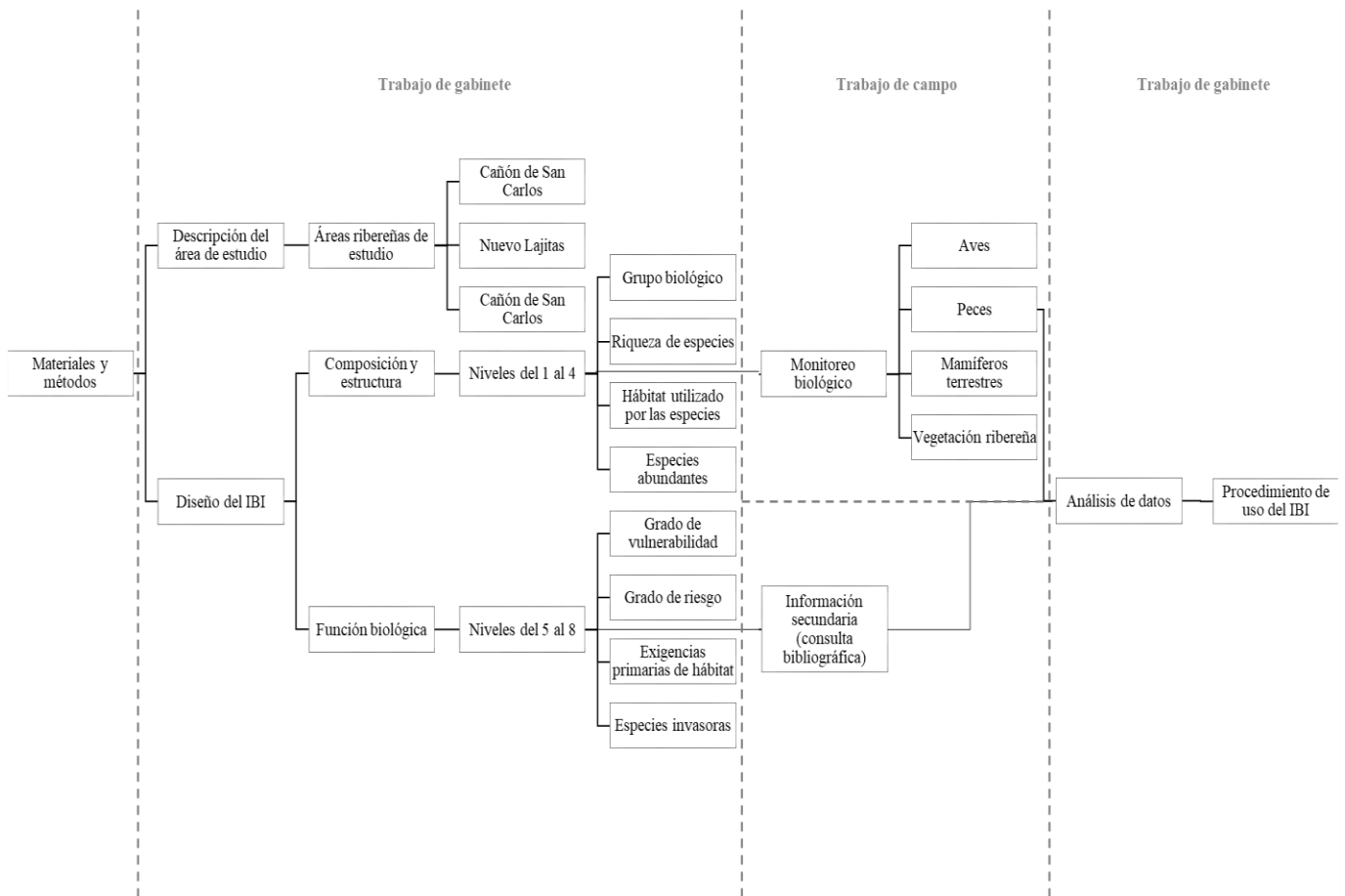
4.1 Objetivos específicos

- a) Diseñar un índice de integridad biológica que considere la composición y estructura de las áreas de estudio y la función biológica de las especies ahí presentes, utilizando bibliografía especializada.
- b) Realizar monitoreos biológicos en las áreas ribereñas de estudio, utilizando métodos directos e indirectos para los diferentes indicadores biológicos.
- c) Obtener la integridad ecológica de cada área de estudio, empleando el índice diseñado y los datos del monitoreo biológico.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Diagrama de flujo

El proyecto de investigación se compuso de tres fases principales (trabajo de gabinete previo, de campo y gabinete final), la descripción de las áreas de estudio y el diseño del IBI fue crucial. Seguido se desglosan otros métodos realizados en campo y gabinete, que llevan de la integridad ecológica de cada una de las áreas de estudio (Figura 1).



5.2 Descripción del área de estudio

El Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena, fue decretada como Área Natural Protegida, el 7 de noviembre de 1994 en el Diario Oficial de la Federación, considerando su representatividad en relación con el Desierto Chihuahuense. Al contar con especies de flora y fauna en categoría de riesgo, riqueza geológica e hidrológica, aspectos históricos y contraste de ecosistemas, la convirtió en un proyecto de conservación. Su decreto permitió un cambio en las prácticas de manejo de los recursos naturales, e impulsó la conservación de la diversidad biológica y genética de las especies existentes. Luego de su decreto se comenzó la elaboración del Programa de Manejo como instrumento rector de planeación y regulación que establece las actividades, acciones y lineamientos básicos para el manejo y la administración del área. Lo cual fortalece el objetivo principal del APFFCSE, el cual busca aunar la conservación de la biodiversidad, con el aprovechamiento de los recursos naturales (CONANP, 2013).

De acuerdo con los resultados del Censo de Población y Vivienda del 2010, se estimó que dentro del polígono que representa el APFFCSE habitan 1,451 personas. De este total se estima que 192 residen en el municipio de Ojinaga y 1,259 en el municipio de Manuel Benavides. Las poblaciones con mayor número de habitantes dentro del área son Manuel Benavides y Álamos de San Antonio (INEGI, 2010).

Las principales actividades productivas en el APFFCSE son la agricultura y la ganadería. Para la práctica de la primera, en la zona noroeste del área, se utilizan tecnologías intensivas para la producción de cultivos, mientras que, en el resto del área, es básicamente para autoconsumo. La segunda actividad productiva se lleva a cabo en toda el área de protección, tanto en pequeñas propiedades como en los ejidos. En cuanto a la actividad turística existen sitios con belleza escénica, de los cuales los más importantes para esta actividad son: Cañón de San Carlos, Las Pilas, El Piélagos, Presa La Escondida y Cañón de Santa Elena (CONANP, 2013).

El APFFCSE cuenta con una superficie de 277,209 hectáreas y se localiza en los municipios de Manuel Benavides y Ojinaga en el Estado de Chihuahua. La fisiografía oscila desde los 575 hasta los 2,401 msnm. El clima corresponde a árido desértico con una temperatura media anual entre 18 y 22 °C y presencia de lluvias en los meses de junio a septiembre. La flora del área está formada por cuatro comunidades vegetales: vegetación ribereña, matorral desértico (micrófilo y rosetófilo), pastizal y bosque. Respecto a la fauna, dentro del área se tienen registros de 82 especies; dos mamíferos mayores, 23 mamíferos menores, 23 aves, 23 reptiles, seis peces y cinco anfibios (CONANP, 2013; De la Maza-Benignos y Frías- García, 2015).

5.2.1 Áreas ribereñas de estudio

El proyecto se llevó a cabo en el área ribereña del Cañón de San Carlos (CSC), Nuevo Lajitas (NL) y el Cañón de San Antonio (CSA) (Figura 1). Estas localidades fueron elegidas dentro de las diez establecidas desde el 2014 en el APFFCSE como puntos estratégicos para realizar un monitoreo de calidad de agua permanente (C.C.A, 2014). Se consideró: el avistamiento histórico, documentado y no documentado, de los indicadores biológicos utilizados en este estudio, las actividades productivas que se llevan a cabo en cada una de ellas, y la importancia de la salud ecosistémica de estas localidades con respecto a toda el área.

a) Cañón de San Carlos. Este cañón está localizado a 2.5 km al noroeste de la cabecera municipal de Manuel Benavides y es el principal proveedor de agua de esta. En él se lleva a cabo ganadería extensiva y actividades de recreación, debido a su valor paisajístico (CONANP, 2013). El polígono en el cual se realizó el trabajo de campo en esta área cuenta con las siguientes coordenadas geográficas:

Punto 1: 29° 06' 54.14" N, 103° 55' 48.72" O

Punto 2: 29° 06' 45.37" N, 103° 55' 57.63" O

Punto 3: 29° 06' 44.28" N, 103° 55' 57.64" O

Punto 4: 29° 06' 52.89" N, 103° 55' 47.80" O

b) Nuevo Lajitas. Esta localidad se encuentra a 10 km al noreste de la cabecera municipal de Manuel Benavides. En ella se realiza ganadería extensiva y agricultura (CONANP, 2013). El polígono en el cual se realizó el trabajo de campo en esta área cuenta con las siguientes coordenadas geográficas:

Punto 1: 29° 07' 34.07" N, 103° 46' 53.18" O

Punto 2: 29° 07' 30.45" N, 103 °47' 01.53" O

Punto 3: 29° 06' 57.45" N, 103° 47' 45.99" O

Punto 4: 29° 06' 58.96" N, 103° 47' 48.09" O

c) Cañón de San Antonio. Este cañón se localiza a 21 km al sureste de la cabecera municipal de Manuel Benavides. En él se llevan a cabo la ganadería extensiva y la ganadería. El polígono en el cual se realizó el trabajo de campo en esta área cuenta con las siguientes coordenadas geográficas:

Punto 1: 28° 54' 44.54" N, 103° 51' 13.11" O

Punto 2: 28° 54' 44.44" N, 103° 51' 15.42" O

Punto 3: 28° 54' 18.32" N, 103° 51' 34.06" O

Punto 4: 28° 54' 19.97" N, 103° 51' 34.30" O

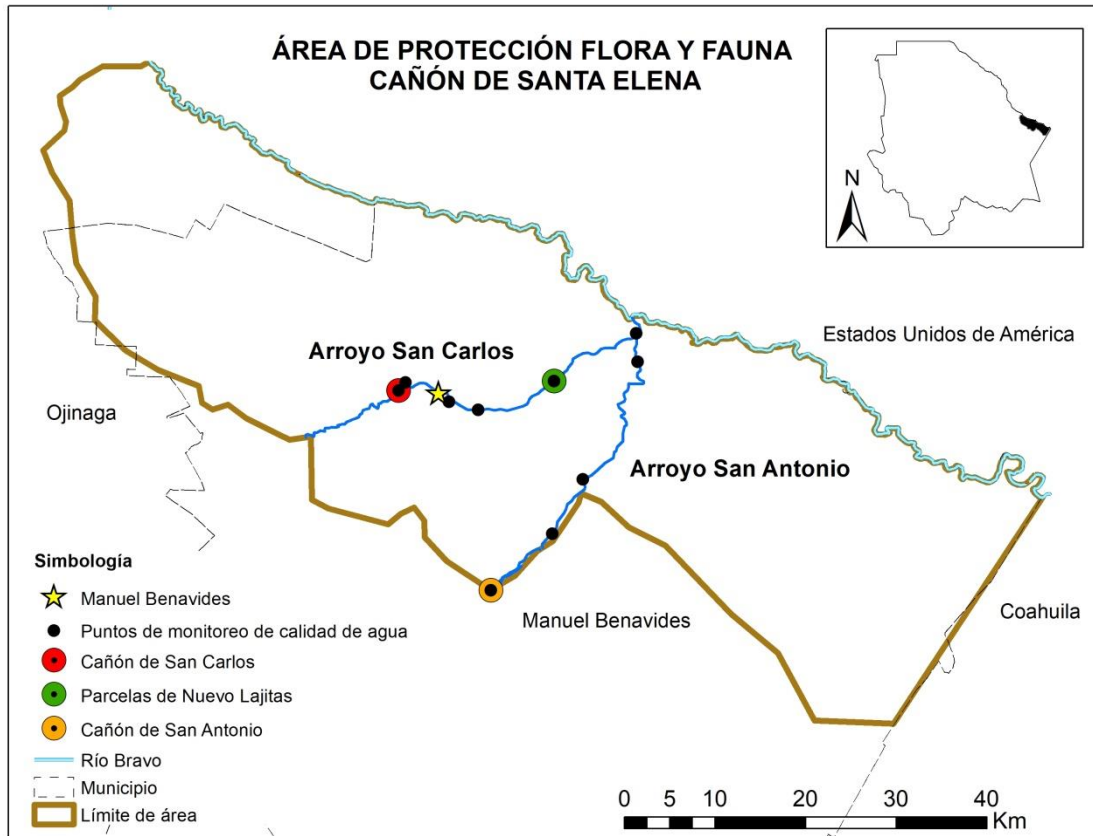


Figura 1. Localización de las tres áreas ribereñas de estudio dentro del Área de Protección Flora y Fauna Cañón de Santa Elena

5.3 Diseño del índice de integridad biológica

Para el diseño del IBI se siguió la metodología de Giraldo-López *et al.*, (2016) modificada. Específicamente para este estudio se establecieron ocho niveles de análisis, los cuales son métricas de cuatro indicadores biológicos; sin embargo, el número, las métricas e indicadores podrían variar al utilizar este IBI en ecosistemas diferentes o bien con la finalidad de hacerlo más robusto.

Primeramente, se estableció la matriz del índice a utilizar, la cual fue estructurada por ocho niveles de análisis jerarquizados por importancia. Los cuatro primeros ligados a la composición y estructura del hábitat (grupo biológico, riqueza de especies, hábitat utilizado por

las especies y especies abundantes) y los otros cuatro a la función biológica de los indicadores monitoreados (grado de vulnerabilidad de las especies, grado de riesgo de las especies, exigencias primarias de hábitat y especies invasoras) (Cuadro 1).

En este estudio se monitorearon cuatro indicadores biológicos (A, B, C y D) que anteriormente se han utilizado en la evaluación de integridad y se apegan a los objetivos y alcances de este proyecto, los cuales fueron: aves, peces, mamíferos terrestres y vegetación de tipo ribereña.

Los niveles de composición y estructura (primeros cuatro) utilizaron la información obtenida en campo, considerada como primaria, mientras que para los niveles de función biológica se utilizó bibliografía, información secundaria.

En específico para los niveles 1 y 7 se utilizó la ponderación de un panel de especialistas.

Cada área de estudio (Cañón de San Carlos, Nuevo Lajitas y Cañón de San Antonio) fue evaluada con su propia información, para obtener un valor único que reflejó la integridad ecológica (IE).

Cuadro 1. Diseño de la matriz del índice de integridad biológica.

Atributo ecológico	Niveles de análisis	Indicador biológico				Σ
		A	B	C	D	
Composición y estructura	Nivel 1. Grupo biológico					
	Nivel 2. Riqueza de especies					
	Nivel 3. Hábitat utilizado por las especies					
	Nivel 4. Especies abundantes					
Función biológica	Nivel 5. Grado de vulnerabilidad de las especies					
	Nivel 6. Grado de riesgo de las especies					
	Nivel 7. Exigencias primarias del hábitat					
	Nivel 8. Especies invasoras					
						IE

A continuación, se encuentra una descripción detallada de los niveles de análisis y cómo es que se obtuvieron los valores de cada indicador en cada uno de ellos.

Nivel 1. Grupo biológico

En este nivel se consideró la presencia de los indicadores biológicos monitoreados,

considerando su riqueza e importancia ecológica. La riqueza de los indicadores fue obtenida a través del monitoreo biológico detallado en el siguiente apartado; mientras que la importancia ecológica fue asignada mediante una ponderación dada por un panel de 10 especialistas, a través de una encuesta (Anexo 1). Para este nivel, a cada especialista se le solicitó que considerara la importancia de presencia de cada uno de los indicadores monitoreados (considerando su biología y el ecosistema en el que se está realizando este estudio) y le confiriera a cada indicador un valor del 4 al 1, siendo cuatro el indicador biológico con mayor importancia y uno con la menor. Para obtener el valor ponderado por los especialistas, los 10 valores (uno por cada especialista) dados a cada indicador se sumaron. Estas cuatro sumatorias (una por cada indicador) se compararon entre sí y se detectó la más alta a la cual se le dio el valor 4 y la menor a la cual se le dio el 1. El panel de especialistas estuvo conformado por investigadores y monitores con experiencia en el APFFCSE.

El valor en la sumatoria de la matriz en este nivel fue el valor ponderado que recibió el indicador biológico que presentó mayor riqueza (mejor representado), en comparación con los otros indicadores. Una vez obtenidos los valores ponderados y el valor en el nivel de cada indicador biológico, fue creado el cuadro del nivel (Cuadro 8, localizado en el apartado 6.1).

Nivel 2. Riqueza de especies

Este nivel refleja la riqueza específica, basada en la cuantificación del número de especies presentes en cada área de estudio. Este método es sencillo y sólido para medir la biodiversidad apoyando el concepto teórico de la diversidad alfa y puede ser respaldado por un análisis del valor de importancia de las especies, como la abundancia relativa para obtener índices de diversidad (Moreno, 2001).

En este nivel se evaluó en términos relativos (%) la representatividad de los indicadores biológicos en cada área, basándose en el número de especies presentes. Para obtener esta representatividad se estableció una línea base por indicador, la cual reflejó el número total de especies registradas en todas las áreas de estudio y se comparó con la riqueza específica (número de especies de cada indicador) de cada área de estudio.

Las categorías de análisis y sus respectivos valores se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Categorías de análisis en el nivel 2 del índice de integridad biológica.

Nivel en la matriz	Indicadores biológicos al cual aplica	Categorías de representatividad	Valor
2	Aves Mamíferos Peces Vegetación	Muy alta Entre el 76 y 100% de las especies registradas	4
		Alta Entre el 51 y 75% de las especies registradas	3
		Moderada Entre el 26 y 50% de las especies registradas	2
		Baja Entre el 1 y 25% de las especies registradas	1
		Nula	0

Nivel 3. Hábitat utilizado por las especies

Este nivel se basa en la presencia de especies generalistas y especialistas, reconociendo que las especies varían en su capacidad para explorar los recursos que necesitan. Se considera que la especie se presentará en la extensión geográfica o hábitat que cuente con los recursos y condiciones que la favorecen, y mientras más nos alejemos de este, la presencia de la especie disminuirá (Benayas, 2009).

Giraldo-López *et al.* (2016), plantea que un hábitat que presenta especies especialistas cuenta con una mayor combinación de recursos. Esto le aporta una mayor importancia, en comparación con un hábitat en donde se encuentre una mayor cantidad de especies generalistas.

En este nivel se asume que una especie especialista al requerir un mayor número de recursos se encontrará sólo en ciertas áreas, es decir, será exclusiva. Con base en esto en el cuadro 3, se muestran las categorías de análisis de este nivel.

Los valores en este nivel se obtuvieron al identificar a través de una base de datos de presencia/ausencia las especies registradas en una, dos o las tres áreas de estudio. Esta información fue convertida a valores relativos (%), al compararla con la lista de especies por grupo biológico de cada área de estudio.

Cuadro 3. Categorías de análisis en el nivel 3 del índice de integridad ecológica.

Nivel en la matriz	Indicadores biológicos al cual aplica	Categorías	Valor
3	Aves	Mayor o igual al 50% de las especies son exclusivas de un área	3
	Mamíferos	Mayor o igual al 25% de las especies están presente en dos áreas	2
	Peces	Mayor o igual al 25% de las especies están presente en tres áreas	1
	Vegetación		

Nivel 4. Especies abundantes

Medir la abundancia relativa de cada especie permite identificar aquellas especies que por su escasa representatividad en la comunidad son más sensibles a las perturbaciones ambientales y nos alertan acerca de procesos empobrecedores (Moreno, 2001).

En este nivel se utilizó la Serie de números de Hill (Moreno, 2001) utilizando la abundancia relativa de las especies, siendo:

N_0 = número total de especies registradas (S)

N_1 = número de especies abundantes = $e^{H'}$ (índice de Shannon)

N_2 = número de especies muy abundantes = $1/\lambda$ (índice de Simpson)

La obtención del índice de diversidad de Shannon H' y el índice de dominancia de Simpson, se explican en el apartado de “Análisis de datos”.

Con este análisis se obtendrá el número de especies abundantes (N_1) dado por el índice de Shannon y el número de especies muy abundantes (N_2) dado por el índice de Simpson. Sin embargo, el valor en la sumatoria de este nivel sólo se basará en N_1 . Esto debido a que este nivel considera que un hábitat presenta una mejor integridad, si la mayor proporción de las especies ahí presentes son abundantes (N_1) y muy abundantes (N_2) (Giraldo-López *et al.* (2016) como se observa en el cuadro 4.

La proporción de las especies en este nivel fue dada en valores relativos, al comparar el número de especies abundantes contra el número total de especies por indicador.

Cuadro 4. Categorías de análisis en el nivel 4 del índice de integridad ecológica.

Nivel en la matriz	Indicadores biológicos al cual aplica	Categorías	Valor
4	Aves Mamíferos Vegetación	Mayor o igual al 50% de las especies son abundantes	3
		Entre el 25 y 49% de las especies son abundantes	2
		Menor o igual al 24% de las especies son abundantes	1

Nivel 5. Grado de vulnerabilidad de las especies

Este nivel de análisis evalúo la presencia de especies o taxa dentro de alguna categoría de vulnerabilidad de la Lista Roja de la UICN. Esta lista es un indicador crítico de la salud de la biodiversidad a nivel internacional y es una herramienta poderosa para informar y generar acciones para la conservación de los recursos naturales (IUCN, 2019). Evalúa la situación actual de los taxones, comparándola con la que supuestamente existía hace 100 años o tres generaciones atrás.

Se tomaron en cuenta las seis categorías que se manejan en esta lista las cuales son:

- Críticamente amenazado (CR). Taxón en peligro crítico, ya que la mejor evidencia considera que se está enfrentando a un riesgo extremadamente alto de extinción en estado silvestre.
- En peligro (EN). Taxón en peligro, cuando la mejor evidencia considera que se está enfrentando a un riesgo muy alto de extinción en estado silvestre.
- Vulnerable (VU). Taxón vulnerable, cuando la mejor evidencia considera que se está enfrentando a un riesgo alto de extinción en estado silvestre.
- Casi amenazado (NT). Taxón que ha sido evaluado según los criterios y no satisface, actualmente, los criterios CR, EN o VU, pero está cercano a satisfacer los criterios, o posiblemente los satisfaga un futuro cercano.
- Preocupación menor (LC). Un taxón se encuentra en esta categoría cuando luego de ser evaluado, no cumple ninguno de los criterios que definen las categorías CR, EN, VU o NT. En esta categoría se incluyen taxones abundantes y de amplia distribución.
- Datos insuficientes (DD) O especies no aplicantes (NA). Un taxón pertenece a la categoría DD cuando no hay información adecuada para hacer una evaluación, directa

o indirecta, de su riesgo de extinción, con base en la distribución y/o el estado de la población. Esta categoría no es de amenaza, si no indicativa que se requiere más información sobre su abundancia y distribución.

Este nivel considera que la presencia de especies en categorías de vulnerabilidad representa una mayor integridad para el hábitat que la mantiene. En el cuadro 5, se muestran las categorías y valores dados a este nivel dentro de la matriz del IBI.

Cuadro 5. Categorías de análisis en el nivel 5 del índice de integridad ecológica.

Nivel en la matriz	Indicadores biológicos al cual aplica	Categorías	Valor
5	Aves Mamíferos Peces Vegetación	CR	6
		EN	5
		VU	4
		NT	3
		LC	2
		DD o NA	1
		Ausencia	0

Nivel 6. Grado de riesgo de las especies

Este nivel se agregó a la metodología de Giraldo-López *et al.* (2016), al reconocer la importancia de contar con una Norma Mexicana en donde las especies son evaluadas a nivel nacional. Esta Norma Oficial Mexicana tiene por objetivo identificar las especies o poblaciones de flora y fauna silvestres en riesgo en la República Mexicana mediante un método de evaluación de su riesgo de extinción y agregar el grado de riesgo a nivel nacional (SEMARNAT, 2010).

Se consideraron las cuatro categorías de riesgo descritas por esta Norma:

- Probablemente extinta en el medio silvestre (E). Aquella especie nativa de México cuyos ejemplares en vida libre dentro del Territorio Nacional, han desaparecido, hasta donde la documentación y los estudios realizados lo prueban, y de la cual se conoce la existencia de ejemplares vivos, en confinamiento o fuera del Territorio Mexicano.
- En peligro de extinción (P). Aquellas especies cuyas áreas de distribución o tamaño de sus poblaciones en el Territorio Nacional han disminuido drásticamente poniendo en

riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, debido a factores tales como la destrucción o modificación drástica del hábitat, aprovechamiento no sustentable, enfermedades o depredación, entre otros.

- Amenazadas (A). Aquellas especies que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo, si siguen operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminuir directamente el tamaño de sus poblaciones.
- Sujetas a protección especial (Pr). Aquellas especies que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de proporcionar su recuperación y conservación o de poblaciones de especies asociadas.

Este nivel, al igual que el pasado, considera que la presencia de especies en categorías de riesgo representa una mayor integridad para el hábitat que la mantiene. En el cuadro 6, se muestran las categorías y valores dados a este nivel.

Cuadro 6. Categorías de análisis en el nivel 6 del índice de integridad ecológica.

Nivel en la matriz	Indicadores biológicos al cual aplica	Categorías	Valor
6	Aves Mamíferos Peces Vegetación	E	4
		P	3
		A	2
		Pr	1
		Ausencia	0

Nivel 7. Exigencias primarias de hábitat

En la naturaleza no se encuentra a una especie aislada, ya que un solo grupo no podría sobrevivir en su medio sin tener con quienes intercambiar materia y energía para su conservación y desarrollo; este conjunto de poblaciones, es decir, la totalidad de organismos que comparten el mismo ambiente y mantienen relaciones, se llama comunidad (Vázquez, 2014). Algunas especies son capaces de adaptarse a ambientes diversos y colonizar distintos hábitats, por el contrario, otras son estrictas en sus exigencias ecológicas, y sus necesidades vitales sólo pueden ser satisfechas en un hábitat determinado, caracterizado por esa misma especie o en conjunto con otras (Krebs,

2009).

Giraldo-López *et al.* (2016), mencionan que las especies pueden agruparse y compararse de acuerdo con los grupos de alimentación (gremios alimenticios), grupos ecológicos (ej. aves de dosel), o con sus sistemas o exigencias de reproducción (ej. especies que se reproducen en medios acuáticos, tipos de dispersión de semillas) lo que permite obtener índices de cambio dentro de un grupo determinado.

Siguiendo la metodología, en este nivel las exigencias primarias de hábitat se definieron como el conjunto de propiedades biológicas relacionadas específicamente con la dieta y/o reproducción. Se considera que éstas son importantes para determinar la presencia de los indicadores biológicos.

Para este nivel se consideró el panel de 10 especialistas mencionado en el nivel 1. Se les pidió que ponderaran lo siguiente (Anexo 1): en vegetación el tipo de dispersión (anemocoria, autocoria, ectocoria, endozoocoria, hidrocoria), que considerarán mejor indicador de integridad, basados en los requerimientos de hábitat, en un rango del 5 al 1, siendo 5 el mejor indicador. En aves se ponderó el gremio alimenticio (carnívoro, carroñero, frugívoro, granívoro, insectívoro, nectívoro, omnívoro), en un rango del 7 al 1, siendo 7 el gremio que refleja una mejor salud del hábitat. Y, por último, en los mamíferos terrestres al igual que en las aves, se ponderó el gremio alimenticio, donde los gremios (carnívoro, carroñero, granívoro, herbívoro, insectívoro, omnívoro) fueron del rango 6 al 1.

Para obtener el valor ponderado de las exigencias primarias se siguió la misma metodología de sumatorias explicada en el nivel 1.

Una vez obtenido este valor, los valores por grupo en este nivel fueron dados por el gremio que representó la mayor proporción en cuanto a número de especies.

El valor ponderado de los tipos de dispersión y gremios alimenticios fueron jerarquizados y valorados (cuadro 18).

Nivel 8. Especies invasoras

La introducción intencional o accidental de especies invasoras es la segunda mayor amenaza a la biodiversidad. Éstas causan graves daños a los ecosistemas terrestres y acuáticos, ya que pueden ocasionar desequilibrios ecológicos, como cambios en la composición y estructura del hábitat, desplazamiento de especies nativas, pérdida de biodiversidad, reducción de diversidad y transmisión de enfermedades (Aguilar, 2005).

Basados en lo anterior, en este último nivel se contempló la presencia/ausencia de especies invasoras, considerando que la presencia de éstas puede afectar negativamente la integridad del hábitat (cuadro 7).

Cuadro 7. Categorías de análisis en el nivel 8 del índice de integridad ecológica.

Nivel en la matriz	Indicadores biológicos al cual aplica	Categorías	Valor
8	Aves	Ausencia de especies invasoras	1
	Mamíferos	Presencia de especies invasoras	0
	Peces		
	Vegetación		

5.4 Monitoreo biológico

Los resultados de este apartado fueron los utilizados en los niveles de composición y estructura del IBI.

Se llevó a cabo cuatro muestreos en cada una de las áreas ribereñas, en diciembre de 2017, abril, julio y diciembre del 2018, con una duración de siete días efectivos, sumando 28 días de monitoreo en cada área. El proyecto contó con la Licencia de Colecta Científica dada por la Dirección de Vida Silvestre – SEMARNAT oficio N° SGPA/ DGVS/ 000922/ 18.

A continuación, se explica la metodología de los muestreos para la obtención de la información primaria y secundaria de los indicadores biológicos, cabe resaltar que los métodos utilizados en este proyecto se llevaron a cabo en los márgenes de los arroyos a no más de 80 metros del cauce.

5.5.1 Aves

El muestreo de aves se realizó mediante puntos de recuento sin radio fijo, se registraron las especies y el número de individuos observados durante un lapso de 10 minutos (Hutto *et al.*, 1986; Ralph *et al.*, 1996). Los conteos se realizaron de las 06:00 a las 09:00 horas por la mañana y de las 15:00 a las 18:00 horas por la tarde, utilizando unos binoculares 12x42 Bushnell®. Las especies se identificaron de acuerdo con Kaufman (2005).

5.5.2 Mamíferos terrestres

Para la colecta de mamíferos se utilizarán dos tipos de métodos (directos e indirectos):

a) Métodos directos

Para la captura de roedores en cada área de estudio se colocaron 20 (en diciembre 2017) y 40 (abril, julio y diciembre 2018) trampas Sherman (Sherman® Traps Inc. Tallase, Fl, USA), en transectos de longitud variable con una distancia regular de 10 metros entre cada trampa, a cada

lado del arroyo se colocó la mitad de las trampas siguiendo la fisiografía del área. Estas trampas fueron cebadas con hojuelas de avena (Ceballos-González y List; 2011; Giraldo-López *et al.*, 2016), durante dos noches consecutivas activadas a las 18:00 horas y revisadas a las 6:00 horas. Los ejemplares capturados fueron medidos (Longitud Total - LT, Longitud de la Cola - LC, longitud de la Pata Trasera - PT y Longitud de la Oreja - LO) y pesados con una balanza Pesola® de 250 gramos, sexados (Arroyo *et al.*, 2013). Dichos datos ayudaron en la determinación a nivel de especie de los individuos. Los ejemplares fueron marcados en el vientre con tinta indeleble para evitar el recuento y fotografiados.

Para ejemplares pertenecientes a las familias Leporidae y Sciuridae, se colocaron cuatro Trampas Havahart (Havahart® Trap CO., Ossining, NY) cebadas con crema de cacahuete y hojuelas de avena (Gallina y López, 2011; Giraldo-López *et al.*, 2016). Fueron activadas a las 6:00 horas y revisadas a las 18:00 horas durante dos días seguidos en cada muestreo por área de estudio. Estas trampas fueron colocadas una al principio y otra al final de cada transecto de trampas Sherman de cada lado del arroyo. Sin embargo, a pesar del esfuerzo de muestreo, realizado por las trampas Havahart no se obtuvieron capturas.

b) Métodos indirectos

Se colocaron una (diciembre 2017), dos (abril 2018) y tres (julio y diciembre 2018) cámaras-trampa (tres Muddy Outdoors® GSM, LLC, Grand Prairie, TX y seis Cuddeback® Cuddeback, Green Bay, WI) por cada área de estudio, en sitios donde se localizaron rastros (huellas, excretas, senderos) y en lugares sugeridos por los monitores del APFFCSE. Fueron colocadas a una altura de 50 cm del suelo, fijadas a un árbol o superficie vertical fija y cebadas con una combinación de sardina y huevo podrido (Arroyo *et al.*, 2013, Cruz-Jácome *et al.*, 2015). Una vez instaladas, se georreferenciaron con la ayuda de un sistema de posicionamiento global Garmin eTrex® 10. Los individuos fotografiados fueron identificados siguiendo la literatura especializada (Anderson 1972, Burt y Grossenheider 1980, Kaufman 2004 y Peterson 2006).

Además, en cada muestro se establecieron dos transectos de un kilómetro (uno a cada lado del arroyo, siguiendo el flujo natural del mismo) en los cuales se realizó la búsqueda de rastros (huellas y excretas). Las huellas y excretas fueron fotografiadas. Para la identificación de rastros se consultó la guía especializada de Aranda (2012).

5.5.3 Peces

La colecta se realizó con dos técnicas: la primera fue colecta manual, la cual se utilizó proferentemente en las partes someras y con fango de los arroyos, en donde no fue conveniente utilizar la segunda técnica, la cual consistió en la utilización de una red de cuchara, dichas técnicas

se realizaron durante dos horas en cada área de estudio. La red de cuchara estuvo compuesta por un asa de metal con una longitud de 1 a 1.5 metros y una red de nylon a modo de bolsa con un haz de luz de 0.3 cm. Esta red se utilizó “barriando” el fondo del agua del centro a la orilla o sobre la vegetación acuática con movimientos rápidos (Espinosa, 2014). En los peces recolectados fue medida su longitud total (LT) y fueron fotografiados y liberados. Las especies fueron identificadas con base en la guía de peces de la APFF Cañón de Santa Elena (De la Maza-Benignos y Frías-García, 2015).

5.5.4 Vegetación ribereña

Para obtener la riqueza de la vegetación ribereña se establecieron dos Líneas de Canfield (1941) de 100 metros, una a cada lado del arroyo, a una distancia no mayor de 80 metros a cada lado del cauce. En estas líneas se identificaron y contabilizaron los organismos herbáceos, arbustivos y arbóreos (Guerra, 2000). Fueron georreferenciadas utilizando un sistema de posicionamiento global Garmin eTrex® 10. Los organismos fueron fotografiados e identificados con la literatura de Rzedowski (2006), Olivas *et al.* (2012), el Programa de Manejo de la APFF Cañón de Santa Elena (2013) y Lebgue y Quintana (2013).

5.5 Análisis de datos

Para la riqueza total (número total de especies en las tres áreas de estudio) y específica (S) (número total de especies por cada área de estudio) utilizadas en los niveles 1 y 2 del IBI, se listó el total de las especies registradas (Moreno, 2001) luego de los cuatro muestreos.

La base de datos realizada para obtener los valores relativos del nivel 3, fue explicada anteriormente en el apartado correspondiente al nivel.

Para el nivel 4 se determinaron los números de Hill, para esto se utilizó el paquete estadístico PAST 3.0 en donde se estimó la diversidad alfa utilizando el índice de Shannon-Wiener H' , mediante la ecuación:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

donde: p_i = proporción de individuos registrados de la i -ésima especie y la dominancia con el índice de Simpson:

$$\lambda = \sum p_i^2$$

donde: p_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra (Moreno, 2001).

La situación de vulnerabilidad de las especies (nivel 5) de todos los indicadores

biológicos se consultó en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN 2011).

El grado de riesgo (nivel 6) en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

El gremio trófico (nivel 7) de las especies de aves y mamíferos fue de acuerdo con González-Salazar (*et al.*, 2014), mientras que el tipo de dispersión de las plantas fue obtenido con ayuda de bibliografía especializada (Armesto y Rozzi, 1989, Jurado *et al.*, 2001, Flores *et al.*, 2011). Para reconocer las especies invasoras se utilizó el portal de Enciclovida (CONABIO, 2016).

5.6 Procedimiento de uso de la matriz del índice de integridad biológica

Los datos ingresados en la matriz del IBI son producto de analizar la información primaria y secundaria de cada grupo biológico, en cada área de estudio. Los valores de un indicador “X” (aves, peces, mamíferos terrestres y vegetación ribereña) obtenidos de una unidad de paisaje o hábitat determinados, en este caso las áreas ribereñas de estudio “VIUH”, son sumados a medida que se desarrolla el análisis entre los distintos niveles, respondiendo matemáticamente la siguiente función lineal:

$$VIUH = \sum_i^j Vin_i$$

donde:

VIUH = valor de un grupo biológico específico en una unidad de paisaje determinada.

Vin_i = valor de un grupo biológico en un nivel de análisis específico.

Lo que es igual a:

$$VIUH = Vin1 + Vin2 + Vin3 + Vin4$$

Finalmente, para determinar el valor total del análisis de todos los indicadores biológicos en cada unidad de paisaje, área de estudio o hábitat (VTUH), es necesario sumarlos entre sí en la sección de salida de la matriz de valoración:

$$VTUH = \sum_i^j Vin_i$$

donde:

VTUH = valor total de los indicadores biológicos evaluados en un hábitat.

Vin_i = valor de un grupo biológico específico en una unidad de paisaje determinada.

Lo que es igual a:

$$VTUH = VIUH_{aves} + VIUH_{peces} + VIUH_{mamíferos\ terrestres} + VIUH_{vegetación\ ribereña}$$

El valor obtenido de esta ecuación es considerado como el puntaje de integridad ecológica de cada unidad de paisaje o área de estudio (Giraldo-López *et al.*, 2018).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Riqueza de las áreas de estudio

Los resultados de riqueza total de las tres áreas de estudio y la riqueza de cada área fueron básicos para la obtención de los valores en los niveles 1 y 2 del IBI. La riqueza total entre las tres áreas de estudio fue de 166 especies, 73 de aves (A), 24 de mamíferos terrestres (MT), dos de peces (P) y 67 de vegetación ribereña (VR), lo cual se consideró la línea base para el nivel 2.

La riqueza específica en el Cañón de San Carlos (CSC) fue de 83 especies: 41 de vegetación ribereña, una de peces, 29 de aves y 12 de mamíferos terrestres. En Nuevo Lajitas (NL) la riqueza fue de 92: 29 de vegetación ribereña, dos de peces, 43 de aves y 18 de mamíferos terrestres. El Cañón de San Antonio (CSA) presentó una riqueza de 93: 27 de vegetación ribereña, una de pez, 48 de aves y 17 de mamíferos terrestres.

De la riqueza total de las tres áreas se registraron 12 taxa de aves, dos de mamíferos, dos de peces y 19 de vegetación que no se encuentran listadas dentro del Programa de Manejo del APFFCSE (CONANP, 2013) el cuál no considera la ictiofauna del área. La CONANP (2013a) reporta los resultados de un monitoreo de aves de pastizal en el Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen en donde se registraron 69 especies de aves. De estas especies, 11 se consideraron indicadores de calidad de hábitat, de las cuales siete se comparten con este estudio: Zacatero garganta negra *Amphispiza bilineata*, Codorniz escamosa *Callipepla squamata*, Centzontle norteño *Mimus polyglottos*, Huilota común *Zenaida macroura*, Gorrión corona blanca *Zonotrichia leucophrys*, Picogordo azul *Passerina caerulea* y Piranga roja *Piranga rubra*, siendo la última un nuevo avistamiento para el área.

En la ponderación de acuerdo con la importancia ecológica dada por el panel de especialistas, estos le dieron el número mayor (4) a la vegetación ribereña. Guevara *et al.* (2008) mencionan de manera general que la base de un área ribereña es el bosque de galería, el cual es un elemento fundamental para el desarrollo de ensamblajes faunísticos. Granados *et al.* (2006), menciona que los bosques ribereños en el desierto de Chihuahua son importantes como sitios de reposo y corredor para animales migratorios o locales. Ya que algunas especies silvestres (aves canoras, coyotes, zorras, lince, comadrejas) los usan durante alguna parte de su ciclo de vida.

El grupo biológico de los peces fue considerado en segundo lugar por importancia ecológica ponderado con el número tres. De la Maza-Benignos (2009) presenta a los peces como indicadores de un delicado equilibrio ecológico de la salud en ríos, manantiales y lagos dentro de la cuenca del río Conchos. La cual tanto su equilibrio, como biota presente ha ido en deterioro

debido a la implementación de agricultura de riego y otras actividades productivas. Esta cuenca es sobre la que se encuentran las tres áreas de estudio de este proyecto.

Las aves fueron ponderadas en tercer lugar con un valor de dos. Bryce (2006) al evaluar el ensamblaje de aves en relación con la presencia de actividades productivas, no registró grandes diferencias entre zonas perturbadas y conservadas; e infiere que el cambio de hábitat no produce un cambio significativo en la presencia y riqueza de las aves en áreas ribereñas.

Los mamíferos terrestres fueron colocados en el último lugar con un valor de 1. El considerar a este grupo como el de menor importancia, difiere con los resultados de Diffendorfer *et al.* (2007), en donde al realizar un IBI multitaxonómico en tres reservas en el estado de California en Estados Unidos, la riqueza de especies de plantas y mamíferos disminuyó, y la riqueza de aves, hormigas y reptiles no mostró cambios en relación con el gradiente de perturbación. Sin embargo, se debe considerar que los hábitats no son los mismos.

El valor ponderado, de acuerdo con la importancia ecológica dada por el panel de especialistas a cada indicador biológico y el valor en la sumatoria de la matriz en el nivel 1 del IBI en cada área de estudio (apegados al grupo mejor representado en el área) se observa en el cuadro 8.

Cuadro 8. Ponderación en el nivel 1 del IBI de los indicadores biológicos atribuida a su importancia ecológica y valor en cada IBI.

Nivel en la matriz	Indicadores biológicos	Vp	Vn CSC	Vn NL	Vn CSA
1	Vegetación ribereña	4	4	-	-
	Peces	3	-	-	-
	Aves	2	-	2	2
	Mamíferos terrestres	1	-	-	-

Vp: Valor ponderado, Vn CSC: Valor en el nivel en el Cañón de San Carlos, Vn NL: Valor en el nivel en Nuevo Lajitas, Vn: Valor en el nivel en el Cañón de San Antonio.

Para el nivel 2 “Riqueza de especies” en el cuadro 9 se observa el valor que cada grupo biológico obtuvo de acuerdo con su representatividad considerando la línea base.

Cuadro 9. Representatividad y valor de los indicadores biológicos en el nivel 2 del IBI.

Indicador biológico	Línea base	CSC			NL			CSA		
		R	Vn		R	Vn	R	Vn		
Vegetación ribereña	67	41	61%	3	29	43%	2	27	40%	2
Peces	2	1	50%	2	2	100%	4	1	50%	2
Aves	73	29	40%	2	43	59%	3	48	66%	3
Mamíferos terrestres	24	12	50%	2	18	75%	3	17	71%	3

CSC: Cañón de San Carlos, NL: Nuevo Lajitas, CSA: Cañón de San Antonio, R: representatividad, Vn: valor en el nivel.

6.2 Hábitat utilizado por las especies

En el CSC se registraron 31 especies exclusivas (VR: 21, A: 7, MT: 3), 26 especies presentes en dos áreas (VR: 16, A: 7, MT: 3) y 38 (VR: 15, A: 13, MT: 10) presentes en las tres áreas de estudio.

En NL 28 especies fueron exclusivas (VR: 10, P: 1, A: 15, MT: 2), 38 especies presentes en dos áreas (VR: 15, P: 0, A: 13, MT: 10) y 26 (VR: 4, P: 1, A: 15, MT: 6) presentes en las tres áreas de estudio.

En el CSA se registraron 32 especies exclusivas (VR: 10, A: 20, MT: 2), 35 (VR:13, A:13, MT: 9) especies presentes en dos áreas y 26 (VR: 4, P: 1, A: 15, MT: 6) presentes en las tres áreas de estudio.

Estos datos les confirieron valores a los indicadores biológicos en el nivel 3 de cada IBI (cuadros 10, 11, 12).

Chin *et al.* (2014), en su índice de integridad biológica, relacionado el nivel de agua de dos lagos en Estados Unidos y la presencia de aves especialistas y generalistas. Reportó una disminución significativa del número de especies especialistas ocasionada por el bajo nivel del agua, lo cual indicó el deterioro de estos humedales. Esto se vio reflejado en esta investigación en donde ninguna localidad contó con la mayor proporción de especies de aves especialistas, una razón pudiese ser la utilización de estos arroyos para actividades humanas, tales como la agricultura, ganadería y consumo humano.

Cuadro 10. Valores de los indicadores biológicos en el nivel 3 del IBI del Cañón de San Carlos.

CSC							
Indicador biológico	*	%	**	%	***	%	Vn
Vegetación ribereña	21	51	16	39	4	10	3
Peces	0	0	0	0	1	100	1
Aves	7	24	7	24	15	52	1
Mamíferos terrestres	3	25	3	25	6	50	2

*: Especies exclusivas; **: especies presentes en dos áreas; ***: especies presentes en las tres áreas;
%: valor relativo; Vn: valor en el nivel.

Cuadro 11. Valores de los indicadores biológicos en el nivel 3 del IBI de Nuevo Lajitas.

NL							
Indicador biológico	*	%	**	%	***	%	Vn
Vegetación ribereña	10	34	15	52	4	14	2
Peces	1	50	0	0	1	50	3
Aves	15	35	13	30	15	35	2
Mamíferos terrestres	2	11	10	56	6	33	2

*: Especies exclusivas; **: especies presentes en dos áreas; ***: especies presentes en las tres áreas;
%: valor relativo; Vn: valor en el nivel.

Cuadro 12. Valores de los indicadores biológicos en el nivel 3 del IBI del Cañón de San Antonio.

CSA							
Indicador biológico	*	%	**	%	***	%	Vn
Vegetación ribereña	10	37	13	48	4	15	2
Peces	0	0	0	0	1	100	1
Aves	20	42	13	27	15	31	2
Mamíferos terrestres	2	12	9	53	6	35	2

*: Especies exclusivas; **: especies presentes en dos áreas; ***: especies presentes en las tres áreas;
%: valor relativo; Vn: valor en el nivel.

6.3 Especies abundantes

Se obtuvo el número de especies abundantes (N1) de los indicadores biológicos y su proporción de acuerdo con la riqueza específica (cuadros 13, 14, 15).

En las tres áreas de estudio las aves fue el grupo biológico con un número mayor de especies abundantes (comunes) por encima del 50%. En el CSC fueron los mamíferos terrestres quienes presentaron un valor por encima del 50% de especies abundantes.

En un hábitat se considera que la estructura de la comunidad debe ser heterogénea, es decir, contar con mayor número de especies abundantes y no muy abundantes, como lo plantea Giraldo-López *et al.* (2016). Según Gastón (1996) la riqueza de especies está correlacionada con la diversidad topográfica, factor formador de los ecosistemas, por tanto, a mayor heterogeneidad espacial y diversidad ecosistémica se puede atribuir una mayor riqueza de especies. Rodríguez-Tellez *et al.* (2012) menciona que la heterogeneidad de los ecosistemas ribereños repercute en la estructura y dinámica de los diferentes niveles tróficos, lo que confieren mayor integridad.

En este nivel no fue considerado el grupo biológico de los Peces, ya que, en dos localidades este grupo sólo estuvo representado por una especie.

El CSC, NL y el CSA, contaron con un número mayor de especies abundantes en los tres indicadores biológicos utilizados en este nivel (vegetación, aves y mamíferos terrestres), con respecto a las especies muy abundantes. Lo cual las plantea como áreas heterogéneas, en las cuales la estructura de los grupos taxonómicos y la dinámica de los niveles tróficos se ven favorecidas, al ser áreas con una mayor diversidad.

Cuadro 13. Especies abundantes utilizando la serie de números de Hill y valores de los indicadores biológicos en el nivel 4 del IBI del Cañón de San Carlos.

Indicador biológico	CSC		Serie de números de Hill					Vn
	Shannon	Simpson	N0	N1	%	N2	%	
Vegetación ribereña	2.145	0.785	41	9	20.8	1	3.1	1
Aves	2.891	0.917	29	18	62.1	1	3.8	3
Mamíferos terrestres	1.829	0.748	12	6	51.9	1	11.1	3

N0: número total de especies registradas, N1: número de especies abundantes (e^H),

N2: número de especies muy abundantes ($1/\lambda$), %: proporción de especies ($(N0/N1) * 100$),

Vn: valor en el nivel.

Cuadro 14. Especies abundantes utilizando la serie de números de Hill y valores de los indicadores biológicos en el nivel 4 del IBI de Nuevo Lajitas.

NL								
Indicador biológico	Shannon	Simpson	Serie de números de Hill				Vn	
			N0	N1	%	N2		%
Vegetación ribereña	2.033	0.795	29	8	26.3	1	4.3	2
Aves	3.086	0.924	43	22	50.9	1	2.5	3
Mamíferos terrestres	1.509	0.565	18	5	25.1	2	9.8	2

N0: número total de especies registradas, N1: número de especies abundantes (e^H),

N2: número de especies muy abundantes ($1/\lambda$), %: proporción de especies $((N0/N1) * 100)$,

Vn: valor en el nivel.

Cuadro 15. Especies abundantes utilizando la serie de números de Hill y valores de los indicadores biológicos en el nivel 4 del IBI del Cañón de San Antonio.

CSA								
Indicador biológico	Shannon	Simpson	Serie de números de Hill				Vn	
			N0	N1	%	N2		%
Vegetación ribereña	2.098	0.792	27	8	30.2	1	4.7	2
Aves	3.248	0.957	48	31	64.2	1	2.2	3
Mamíferos terrestres	2.113	0.818	17	8	48.7	1	7.2	2

N0: número total de especies registradas, N1: número de especies abundantes (e^H),

N2: número de especies muy abundantes ($1/\lambda$), %: proporción de especies $((N0/N1) * 100)$,

Vn: valor en el nivel.

6.4 Grado de vulnerabilidad de las especies

En el CSC se registró una especie de vegetación en categoría EN (Biznaga barril de Puebla *Ferocactus haematacanthus*), una especie de pez en categoría de LC (Carpa obispa *Dionda episcopa*), todas las especies de aves en categoría de LC y una especie de mamífero terrestre (Chivo berberisco *Ammotragus lervia*) en categoría de VU.

En NL se registraron diez especies de vegetación ribereña en categoría de LC, dos de pez (*Dionda episcopa*, Sardinilla cebrá *Fundulus zebrinus*) en categoría de LC, una especie de ave

(Verdugo americano *Lanius ludovicianus*) en categoría NT y todos los mamíferos terrestres en categoría de LC.

En el CSA se registró una especie de vegetación ribereña en categoría EN (*Ferocactus haematacanthus*), una especie de pez en LC (*Dionda episcopa*), la mayoría de las especies de aves en categoría de LC y todas las especies de mamíferos terrestres en categoría LC.

Estos datos se utilizaron para crear un valor por grupo biológico en el nivel 5 de cada IBI (cuadro 16). El registro de *Ferocactus haematacanthus*, coincide con Reyes (2006) en el listado de cactáceas del APFFCSE y CONANP (2013) en el Programa de Manejo del Área. El Programa de Manejo del Área (CONANP, 2013) además registra la presencia de *Ammotragus lervia* y *Lanius ludovicianus*. Las dos especies de pez *Dionda episcopa* y *Fundulus zebrinus* no se mencionan dentro del mismo.

El grado de vulnerabilidad de especies es una métrica a nivel internacional, la utilización de esta en este estudio reflejó tres especies que no están evaluadas a nivel nacional dentro de alguna categoría de riesgo: *Lanius ludovicianus*, *Ammotragus lervia*, *Fundulus zebrinus*; estas últimas son especies invasoras en territorio mexicano. A pesar de estos dos últimos resultados y basados en Giraldo-López *et al.* (2016), esta métrica no fue retirada de la matriz del índice, ya que el diseño se realizó en base a la evaluación necesaria de integridad y no respecto a los resultados obtenidos.

Cuadro 16. Presencia de especies en grado de vulnerabilidad en las tres áreas de estudio y su valor en el nivel 5 de los IBI.

Indicador biológico	CSC	Vn	NL	Vn	CSA	Vn
Vegetación ribereña	EN	5	LC	2	EN	5
Peces	LC	2	LC	2	LC	2
Aves	LC	2	NT	3	LC	2
Mamíferos terrestres	VU	4	LC	2	LC	2

CSC: Cañón de San Carlos, NL: Nuevo Lajitas, CSA: Cañón de San Antonio, EN: en peligro, LC: Preocupación menor, NT: Casi amenazado, VU: Vulnerable, Vn: Valor en el nivel.

6.5 Grado de riesgo de las especies

En el CSC se registró una especie de vegetación ribereña (*Ferocactus haematacanthus*) y una de pez (*Dionda episcopa*) ambas en categoría de Pr; una especie de ave (Saltapared de rocas *Salpinctes obsoletus*) en categoría de E y tres especies de mamíferos terrestres (Ardilla antílope texana *Ammospermophilus interpres*, Cacomixtle norteño *Bassariscus astutus*, Zorrita del desierto *Vulpes macrotis*) en categoría de A.

En NL en cuanto a vegetación ribereña no se registraron especies en ninguna categoría de riesgo; se registró una especie de pez (*Dionda episcopa*) en categoría de Pr; una especie de ave en categoría de A (Pato de collar *Anas platyrhynchos*) y cuatro especies (*Bassariscus astutus*, Rata canguro de Merriam *Dipodomys merriami*, Tlalcoyote *Taxidea taxus* y *Vulpes macrotis*) de mamíferos terrestres también en categoría de A.

En el CSA se registró la presencia de una especie de vegetación ribereña (*Ferocactus haematacanthus*) y de pez (*Dionda episcopa*) ambas en categoría de Pr; una especie de ave (Papamoscas saucero *Empidonax traillii*) en categoría de E y una especie de mamífero terrestre (Pecarí de collar *Dicotyles tajacu*) en categoría de P.

Estos datos se utilizaron para crear un valor por grupo biológico en el nivel 6 de cada IBI (cuadro 17).

Los dos niveles pasados “Grado de vulnerabilidad y riesgo de las especies”, como se mencionó anteriormente, considera que la presencia de especies vulnerables o en riesgo representa una mayor integridad para el hábitat que la mantiene. Ya que si las condiciones climáticas, no favorece el mantenimiento de una especie en un determinado lugar, ésta intentará migrar a lugares con condiciones más adecuadas (Arribas *et al.*, 2012, Giraldo-López *et al.*, 2016).

La presencia de especies en categorías de riesgo le confiere importancia a nivel ecosistema a las áreas ribereñas estudiadas, al ser éstas utilizadas en alguna etapa de la vida o en algún rasgo del ámbito hogareño de estas especies. Además, nos ayuda a visualizar y priorizar las acciones de manejo que deben ser continuadas o aplicadas para la conservación de estos hábitats como resguardo de especies en riesgo.

Cuadro 17. Presencia de especies en grado de riesgo en las tres áreas de estudio y su valor en el nivel 6 de los IBI.

Indicador biológico	CSC	Vn	NL	Vn	CSA	Vn
Vegetación ribereña	Pr	1	-	0	Pr	1
Peces	Pr	1	Pr	1	Pr	1
Aves	E	4	A	2	E	4
Mamíferos terrestres	A	2	A	2	P	3

CSC: Cañón de San Carlos, NL: Nuevo Lajitas, CSA: Cañón de San Antonio, A: Amenazada, E: Probablemente extinta en el medio silvestre, P: En peligro de extinción, Pr: Sujetas a protección especial, Vn: Valor en el nivel.

6.6 Exigencias primarias de hábitat

La ponderación de las exigencias primarias (tipo de dispersión y gremio alimenticio) de los indicadores biológicos (vegetación ribereña, aves y mamíferos terrestres) dada por el panel de especialistas se observa en el cuadro 18, mientras que los resultados y valores dados en el nivel 7 a cada grupo en cada área de estudio se muestra en el cuadro 19. En este nivel no se tomó en cuenta al grupo de los peces, ya que Giraldo-López *et al.* (2016) recomiendan que este grupo sea valorado de acuerdo con su nivel de resistencia a cambios en la calidad de agua de su hábitat y dicha información no fue obtenida, debido a la falta de continuidad del muestreo.

En el grupo biológico de aves, el panel de especialistas le confirió un mayor valor a la presencia de especies insectívoras (valor de 7). Guevara *et al.* (2008), mencionan que las zonas de ribera constituyen un elemento fundamental para ciertas aves migratorias e insectívoras. Esto además de respaldar la decisión de los especialistas, se presentó en las áreas ribereñas de estudio, en las cuales la mayor proporción de aves pertenecieron a este gremio.

En el caso de los mamíferos terrestres, los especialistas ponderaron a los carnívoros como el gremio con mayor requerimiento de hábitat (valor de 6). Rabeil (2009), menciona que los carnívoros son clave para determinar el nivel de salud del ecosistema debido a la necesidad de vastas áreas y un número adecuado de presas para su supervivencia.

Con base en lo anterior, las áreas ribereñas de este estudio se pueden considerar clave para determinar la salud del ecosistema, ya que la mayor proporción de mamíferos en el CSC y en NL fue de carnívoros, mientras que en el CSA los carnívoros, herbívoros y omnívoros presentaron la misma proporción por encima de los demás gremios, dándole prioridad al gremio con mayor puntuación en la ponderación (carnívoros). La presencia de carnívoros en estas áreas se le atribuye a la abundancia de presas y a la utilización de estas riberas como sitios de reposo y conectividad.

En el caso de la vegetación ribereña, el panel de especialistas les confirió el valor más alto a las plantas con el tipo de dispersión por hidrocoria (valor de 5). Meli *et al.* (2015) relaciona los frecuentes periodos de inundación en las áreas de ribera con el flujo de materia y energía, así como la dispersión de las comunidades vegetales.

Este fenómeno de inundaciones se observó durante el transcurso del trabajo en campo, donde el nivel y anchura del arroyo difirió dependiendo de la temporada del año. La ponderación de los especialistas aparte de respaldada es entendible, ya que, en áreas ribereñas donde el principal recurso es el agua, se asume que al tener la mayor proporción de plantas que su dispersión sea por este mismo recurso, el requerimiento sea mínimo y la presencia de las especies sea favorable. En las tres áreas de estudio la mayor proporción de las especies de vegetación ribereña presentaron endozoocoria, por lo cual no les confirió el mayor valor dentro del nivel. Sin embargo; respalda la importancia y presencia de ensambles faunísticos en las áreas.

6.7 Presencia de especies invasoras

En el CSC sólo se registró una especie como invasora, la cual fue el mamífero terrestre (*Ammotragus lervia*).

En NL se registraron tres, una especie de vegetación ribereña (*Tamarix ramosissima*), una de pez (*Fundulus zebrinus*) y una de mamífero terrestre (*Sus scrofa*).

En el CSA se registraron cuatro especies, dos especies de vegetación ribereña (*Erigeron canadensis* y *Nicotiana glauca*), una especie de ave (*Passer domesticus*) y una de mamífero terrestre (*Sus scrofa*).

Cuadro 18. Categorías de análisis en el nivel 7 del IBI junto con el valor ponderado por los especialistas.

Nivel en la matriz	Indicadores biológicos al cual aplica	Categorías	Valor
7	Aves	La mayor proporción de especies son Insectívoras	7
		La mayor proporción de especies son Nectívoras	6
		La mayor proporción de especies son Carnívoras	5
		La mayor proporción de especies son Frugívoras	4
		La mayor proporción de especies son Granívoras	3
		La mayor proporción de especies son Carroñeras	2
		La mayor proporción de especies son Omnívoras	1
		La mayor proporción de especies son Carnívoras	6
	Mamíferos	La mayor proporción de especies son Herbívoras	5
		La mayor proporción de especies son Granívoras	4
		La mayor proporción de especies son Carroñeras	3
		La mayor proporción de especies son Insectívoras	2
		La mayor proporción de especies son Omnívoras	1
		La mayor proporción de especies presenta Hidrocoria	5
	Vegetación	La mayor proporción de especies presenta Anemocoria	4
		La mayor proporción de especies presenta Endozoocoria	3
		La mayor proporción de especies presenta Autocoria	2
		Otra	1

Cuadro 19. Valores de las exigencias primarias de los indicadores biológicos en cada IBI.

Indicador biológico	CSC	Vn	NL	Vn	CSA	Vn
Vegetación ribereña	Endozoocoria	3	Endozoocoria	3	Endozoocoria	3
Aves	Insectívoras	7	Insectívoras	7	Insectívoras	7
Mamíferos terrestres	Carnívoras	6	Carnívoras	6	Car/Her/Omn	6

CSC: Cañón de San Carlos, NL: Nuevo Lajitas, CSA: Cañón de San Antonio, Car: Carnívoras, Her: Herbívoras, Omn: Omnívoras, Vn: Valor en el nivel.

La ausencia y presencia de especies invasoras en cada área de estudio, junto con el valor de cada grupo para el nivel 8 se muestran en el cuadro 20.

La presencia de especies invasoras se considera la segunda razón de pérdida de biodiversidad (Aguilar, 2005). Estas especies superan barreras geográficas ambientales y reproductivas, suelen provocar cambios en el medio ambiente al producir gases de efecto invernadero, al desplazar e incluso desaparecer especies nativas y al reducir sistemas de producción (Badii, 2015).

Diversos autores han registrado la presencia de especies de flora y fauna invasoras en los ecosistemas áridos y semiáridos a lo largo del cauce del Rio Bravo y sus afluentes. En estas áreas existe la presencia de especies de vegetación ribereña invasora que ha remplazado ya a los ecosistemas naturales riparios originales (De la Maza-Benignos *et al.*, 2009). Especies como el cedro salado o tamarisco (*Tamarix ramosissima*), el carrizo gigante (*Arundo donax*), el zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*), el zacate berbuda (*Cynodon dactylon*) y el zacate Johnson (*Sorghum halepense*), son algunos ejemplos (Glenn y Nagler, 2005, Granados-Sánchez *et al.*, 2011, CONANP, 2013, Fuentes, 2017). En fauna las especies que representan mayor amenaza en estas áreas son el chivo berberisco (*Ammotragus lervia*) y el marrano europeo (*Sus scrofa*) (CONANP, 2013, Fuentes, 2017).

Cuadro 20. Presencia/ausencia de especies invasoras en las áreas de estudio y su valor en los IBI.

Indicador biológico	CSC	Vn	NL	Vn	CSA	Vn
Vegetación ribereña	Ausencia	1	Presencia	0	Presencia	0
Peces	Ausencia	1	Presencia	0	Ausencia	1
Aves	Ausencia	1	Ausencia	1	Presencia	0
Mamíferos terrestres	Presencia	0	Presencia	0	Presencia	0

CSC: Cañón de San Carlos, NL: Nuevo Lajitas, CSA: Cañón de San Antonio, Vn: Valor en el nivel.

6.8 Análisis de integridad ecológica

Luego de obtener los valores (nivel 2, 3, 4, 5, 6 y 8) y valores ponderados (nivel 1 y 7) de los indicadores biológicos en todos los niveles y siguiendo la metodología de Giraldo-López *et al.* (2016) y Giraldo-López *et al.* (2018) se creó un análisis matriz en el que a cada nivel se le otorgó el valor máximo en relación con la información primaria y secundaria de los indicadores biológicos monitoreados (cuadro 21). A partir de esta valoración se establecieron cuatro categorías de integridad (tabla 1), siendo hábitats con muy buena integridad los que presenten valores entre 79 y 103, hábitats con buena integridad con valores entre 78 y 54, hábitats con integridad regular con valores entre 53 y 27 y por último hábitats con integridad mala con valores entre el 26 y 0.

La información primaria y secundaria en cada área de estudio fue utilizada para analizar su integridad ecológica. El CSC resultó con una integridad ecológica de 67 puntos (cuadro 22), NL con una de 61 (cuadro 23) y el CSA con 63 (cuadro 24). Las tres áreas de estudio se colocaron dentro de la categoría como hábitats con buena integridad ecológica.

Cuadro 21. Matriz con valores máximos para los indicadores biológicos.

Atributo ecológico	Niveles de análisis	Indicador biológico				Σ
		VR	P	A	MT	
Composición y estructura	Nivel 1. Grupo biológico*	4	3	2	1	4
	Nivel 2. Riqueza de especies	4	4	4	4	16
	Nivel 3. Hábitat utilizado por las especies	3	3	3	3	12
	Nivel 4. Especies abundantes	3	-	3	3	9
Función biológica	Nivel 5. Grado de vulnerabilidad de las especies	6	6	6	6	24
	Nivel 6. Grado de riesgo de las especies	4	4	4	4	16
	Nivel 7. Exigencias primarias del hábitat	5	-	7	6	18
	Nivel 8. Especies invasoras	1	1	1	1	4
						103

* En este nivel sólo se considerará el valor del indicador biológico que presentó mayor riqueza.

Tabla 1. Categorías de integridad biológica para áreas ribereñas del APFFCSE

Categorías de integridad	Puntaje
Hábitats muy buenos	79 – 103
Hábitats buenos	54 – 78
Hábitats regulares	27 – 53
Hábitats malos	0 – 26

En el CSC los niveles sobre estructura y composición tuvieron los siguientes resultados: el indicador mejor representado fue la vegetación ribereña (67 especies), el cual también fue el considerado de mayor importancia ecológica en este estudio por lo cual se le confirió el mayor valor (4) en el nivel 1. En el nivel 2, la vegetación ribereña tuvo alta representatividad (61%) con relación a la riqueza del área, mientras que los otros tres indicadores (peces, aves y mamíferos terrestres) presentaron una moderada representatividad (50%, 40% y 50% respectivamente). En el nivel 3, esta área registró más del 50% de las especies de vegetación como exclusivas (51%), lo cual le confirió el mayor valor (3) en el nivel; en cuanto a mamíferos terrestres, en esta área se registró el 25% de las especies exclusivas, mientras que en peces y aves la mayor proporción de especies fueron compartidas con las otras dos áreas de estudio. Con respecto al nivel 4, fue el 20.8% de las especies de vegetación ribereña encontradas como abundantes, mientras que en aves

y mamíferos terrestres esta proporción estuvo por encima del 50% (62.1 y 51.9 respectivamente) lo cual les confirió el valor máximo (3) en este nivel. Pasando a los niveles relacionados con la función biológica de las especies, en este cañón se registraron especies vulnerables en categoría de “En peligro” en vegetación ribereña, “Preocupación menor” en peces y aves y “Vulnerable” en mamíferos terrestres (nivel 5). En este cañón se registraron especies “Probablemente extinta en vida silvestre” en aves, “Amenazadas” en mamíferos terrestres y “Sujetas a protección especial” en vegetación y peces (nivel 6). Respecto a las exigencias primarias (nivel 7) la mayor proporción de vegetación presentó dispersión por endozoocoria, la mayor parte de aves pertenecieron al gremio de insectívoros y los mamíferos terrestres al de carnívoros. Este cañón tuvo el registro de una sola especie invasora perteneciente a los mamíferos terrestres (nivel 8).

La ausencia de especies invasoras de tres indicadores biológicos, la presencia de especies en vulnerabilidad y riesgo, la alta representatividad de la vegetación ribereña y la importancia ecológica de la misma, fueron los puntos que resaltaron en la evaluación de integridad ecológica del CSC.

Cuadro 22. Análisis de integridad ecológica del Cañón de San Carlos.

Atributo ecológico	Niveles de análisis	Indicador biológico				Σ
		VR	P	A	MT	
Composición y estructura	Nivel 1. Grupo biológico	4	-	-	-	4
	Nivel 2. Riqueza de especies	3	2	2	2	9
	Nivel 3. Hábitat utilizado por las especies	3	1	1	2	7
	Nivel 4. Especies abundantes	1	-	3	3	7
Función biológica	Nivel 5. Grado de vulnerabilidad de las especies	5	2	2	4	13
	Nivel 6. Grado de riesgo de las especies	1	1	4	2	8
	Nivel 7. Exigencias primarias del hábitat	3	-	7	6	16
	Nivel 8. Especies invasoras	1	1	1	0	3
						67

En NL los niveles de composición y estructura tuvieron los siguientes resultados: las aves fue el indicador biológico mejor representado (43 especies), obteniendo un valor de 2 en el nivel 1. En el nivel 2, en esta área se registró muy alta representatividad (100%) de las especies de peces con relación a la riqueza del área, las aves y mamíferos terrestres presentaron una alta representatividad (59% y 75% respectivamente), mientras que la vegetación ribereña presentó

una representatividad moderada (43%). En el nivel 3, esta área registró el 50% de las especies de peces como exclusivas, lo cual le confirió el mayor valor (3) en el nivel; en cuanto a vegetación ribereña, aves y mamíferos terrestres entre el 25 y 100% de las especies fueron compartidas entre dos áreas (52%, 30% y 56% respectivamente). En el nivel 4, el 50.9% de las especies de aves fueron abundantes, mientras que en vegetación ribereña y mamíferos terrestres la proporción de estas especies estuvo entre el 25% y 49% (26.3% y 25.1% respectivamente). Pasando a los niveles relacionados con la función biológica, en el nivel 5, en esta área se registraron especies en categoría de “Casi amenazado” en aves y “Preocupación menor” en especies de los otros tres indicadores. En el nivel 6, se registraron especies de aves y mamíferos en categoría de “Amenazadas” y de peces en categoría de “Sujetas a protección especial”; no se registraron especies de vegetación en alguna categoría de riesgo. Respecto a las exigencias primarias (nivel 7) la mayor proporción de vegetación presentó dispersión por endozoocoria, la mayor parte de aves resultaron pertenecientes al gremio de insectívoros y los mamíferos terrestres al de carnívoros. En esta área se registraron especies invasoras pertenecientes a tres indicadores biológicos (vegetación ribereña, peces y mamíferos terrestres) (nivel 8).

Sin duda, la presencia en esta área de las dos especies de peces registradas en este estudio, lo confirió valores altos en dos de los niveles de análisis (nivel 2 y 3). Por otro lado, el que sólo las aves hayan presentado una proporción mayor al 50% de especies abundantes y la presencia de especies invasoras de tres de los cuatro indicadores biológicos son métricas para considerar al evaluar la integridad ecológica de NL.

Cuadro 23. Análisis de integridad ecológica de Nuevo Lajitas.

Atributo ecológico	Niveles de análisis	Indicador biológico				Σ
		VR	P	A	MT	
Composición y estructura	Nivel 1. Grupo biológico	-	-	2	-	2
	Nivel 2. Riqueza de especies	2	4	3	3	12
	Nivel 3. Hábitat utilizado por las especies	2	3	2	2	9
	Nivel 4. Especies abundantes	2	-	3	2	7
Función biológica	Nivel 5. Grado de vulnerabilidad de las especies	2	2	3	2	9
	Nivel 6. Grado de riesgo de las especies	0	1	2	2	5
	Nivel 7. Exigencias primarias del hábitat	3	-	7	6	16
	Nivel 8. Especies invasoras	0	0	1	0	1
						61

En el CSA los niveles de composición y estructura tuvieron los siguientes resultados: las aves fue el indicador biológico mejor representado (48 especies), obteniendo un valor de 2 en el nivel 1. En el nivel 2, en este cañón las aves y los mamíferos presentaron alta representatividad (66% y 71% respectivamente) con relación a la riqueza del área, mientras que la vegetación ribereña y los peces presentaron moderada representatividad (40% y 50% respectivamente). En el nivel 3, entre el 25% y 100% de las especies de vegetación ribereña, aves y mamíferos terrestres (48%, 27% y 53% respectivamente) fueron compartidas entre dos áreas de estudio, en el caso de los peces el 100% de las especies se compartieron con las otras dos áreas de estudio. En el nivel 4, el 64.2% de las especies de aves fueron abundantes, mientras que en vegetación ribereña y mamíferos terrestres la proporción de estas especies estuvo entre el 25% y 49% (30.2% y 48.7% respectivamente). Pasando a los niveles relacionadas como la función biológica, en el nivel 5, en esta área se registró una especie de vegetación ribereña “En peligro” y especies de peces, aves y mamíferos terrestres en la categoría de “Preocupación menor”. En el nivel 6, se registró una especie de ave en la categoría “Posiblemente extinta en vida silvestre”, una especie de mamífero terrestre “En peligro de extinción” y especies de vegetación ribereña y peces “Sujetas a protección especial”. Respecto a las exigencias primarias (nivel 7) la mayor proporción de vegetación presentó dispersión por endozoocoria, la mayor parte de aves resultaron pertenecientes al gremio de insectívoros y los mamíferos terrestres al de carnívoros. En esta área se registraron especies invasoras pertenecientes a tres indicadores biológicos (vegetación ribereña, aves y mamíferos terrestres) (nivel 8).

La alta representatividad de las aves y los mamíferos, la proporción de especies de aves abundantes y la presencia de especies vulnerables y en riesgo, son puntos para resaltar en este análisis de integridad, sin dejar de lado la presencia de especies invasoras.

Cuadro 24. Análisis de integridad ecológica del Cañón de San Antonio

Atributo ecológico	Niveles de análisis	Indicador biológico				Σ
		VR	P	A	MT	
Composición y estructura	Nivel 1. Grupo biológico	-	-	2	-	2
	Nivel 2. Riqueza de especies	2	2	3	3	10
	Nivel 3. Hábitat utilizado por las especies	2	1	2	2	7
	Nivel 4. Especies abundantes	2	-	3	2	7
Función biológica	Nivel 5. Grado de vulnerabilidad de las especies	5	2	2	2	11
	Nivel 6. Grado de riesgo de las especies	1	1	4	3	9
	Nivel 7. Exigencias primarias del hábitat	3	-	7	6	16
	Nivel 8. Especies invasoras	0	1	0	0	1
						63

Los valores de integridad de las tres áreas ribereñas no fueron comparados entre sí, ya que, aunque las tres son áreas ribereñas y se esperaría que los valores de integridad fueran similares; estas áreas difieren en cuanto a fisiografía, uso de agua, actividades productivas y cercanía a comunidades. Además, basados en De la Maza-Benignos *et al.* (2009), la premisa de la que parte una evaluación de integridad ecológica es que un área debe, preferentemente ser evaluada con respecto a sí misma y que, cuando existe una colección de datos o series de tiempo que permiten analizarla en diferentes épocas, no se requiera compararlo contra una condición empírica y virtualmente idealizada.

Dichas son las razones por las cuales las áreas no fueron comparadas entre sí; si no se espera que éstas sigan siendo evaluadas sistemáticamente para crear un IBI histórico y poder observar cómo la integridad ecológica va cambiando a través del tiempo.

7. CONCLUSIONES

Se diseñó un IBI capaz de analizar la composición y estructura de las áreas ribereñas de estudio, así como la función biológica de las especies ahí presentes.

La información primaria y secundaria sobre los indicadores biológicos utilizados en este estudio (vegetación ribereña, los peces, las aves y los mamíferos terrestres) fue suficiente para un análisis robusto de integridad.

La integridad ecológica de las tres áreas de estudio del APFFCSE son consideradas como hábitats con buena integridad ecológica.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, V. 2005. Especies invasoras: una amenaza para la biodiversidad y el hombre. CONABIO. Biodiversitas. México.
- Anderson, S. 1972. Mammals of Chihuahua. Taxonomy and distribution. *Nat. Hist.* 148:153-410.
- Aranda, J. M. 2012. Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Arribas, P., P. Abellán, J. Velasco, D. T. Bilton, J.M. Lobo, A. Millán, D. Sánchez-Fernández. 2012. La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas.* 21(3):79-84.
- Arroyo, E., A. Riechers, E. Naranjo, y G. Rivera-Velázquez, G. 2013. Riqueza, abundancia y diversidad de mamíferos silvestres entre hábitats en el Parque Nacional Cañón del Sumidero, Chiapas, México. *Therya.* 4(3): 647-676.
- Angermeier P. y J. Karr. 1994. Biological Integrity versus Biological Diversity as Policy Directives. *Bioscience.* 44(10): 690-697.
- Armesto J. J. y R. Rozzi. 1989. Seed dispersal syndromes in the rain forest of Chiloé: evidence for the importance of biotic dispersal in a temperate rain forest. *J. Biogeogr.* 16: 219-226.
- Azevedo-Ramos, C., O. De Carvalho, R. Nasi. 2005 Animal indicators: a tool to assess biotic integrity after logging tropical forests?. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazonia (IPAM). Brasil. 37 pp.
- Badii, M. H., A. Guillen, C. E. Rodríguez, O. Lugo, J. Aguilar y M. Acuña. 2015. Pérdida de biodiversidad: causas y efectos. *International Journal of Good Conscience.* 10(2): 156-174.
- Bryce, S. A. 2006. Development of a bird integrity index: Measuring avian response to disturbance in the Blue Mountains of Oregon, USA. *J Environ Manage.* 38(3): 470-486.
- Burt, W. H. y R. P. Grossenheider, 1980. Mammals. Houghton Mifflin, Boston, Massachusetts, EUA.
- Canfield, H. R. 1941. Application of the line interception method in sampling range vegetation. *J. of Forestry.* 39(4): 388-394

- Carignan, V. y M. A. Villard. 2002. Selecting indicator species to monitor ecological integrity: a review. *Environ Monit Assess.* 78: 45–61.
- Carrillo, E., G. Wong y A. D. Cuarón. 2000. Monitoring mammal populations in Costa Rican protected areas under different hunting restrictions. *Conserv. Biol.* 14(6): 1580-1591.
- C.C.A. Comisión para la Cooperación Ambiental. 2014. Monitoreo y estudios biológicos en los arroyos San Carlos y San Antonio del Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena, Chihuahua. Informe final del programa de monitoreo de los arroyos San Carlos y San Antonio. Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá. No publicado.
- Ceballos-González, G. J. y R. List. 2011. Inventario de especies de vertebrados para apoyar la creación del ordenamiento ecológico y la reserva de la Biósfera Janos, Chihuahua. Universidad Autónoma de México. Instituto de Ecología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. FQ. México, D.F.
- Chin A., D. C. Tozer y G. S. Fraser. 2014. Hydrology influences generalist-specialist bird-based indices of biotic integrity in Great Lakes coastal wetlands. *J Great Lakes Res.* 40(2): 281-287.
- CONANP; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2016. EncicloVida. CONABIO. México. <http://www.enciclovida.mx> (Consultado 10 de enero de 2019).
- CONANP; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2008. Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México, D.F. 50p.
- CONANP; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2013. Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena. México, D.F. 158p.
- CONANP; Comisión Nacional de áreas Naturales Protegidas. 2013a. Monitoreo de aves de pastizal en el Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen. México.
- CONANP; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2015. México. <https://www.gob.mx/conanp/prensa/la-conanp-lleva-a-cabo-primer-taller-sobre-resiliencia-social-y-ecologica-para-areas-naturales-protegidas-22689> (Consultado 10 de octubre de 2017).

- Córdova-Ávalos, A., J. L. Alcántara-Carbajal, R. Guzmán-Plazola, G. D. Mendoza-Martínez y V. González-Romero. 2009. Desarrollo de un índice de integridad biológica avifaunístico para dos asociaciones vegetales de las Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla, Tabasco. *Universidad y Ciencia*. 25(1): 1-22.
- Cruz-Jácome, O., E. López-Tello, C. A. Delfín-Alonso y S. Mandujano. 2015. Riqueza y abundancia relativa de mamíferos medianos y grandes en una localidad en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, Oaxaca, México. *Therya*. 6(2): 435-448.
- De la Maza Benignos, M., editor. 2009. Los Peces del Río Conchos. Alianza WWF - FGRA y Gobierno del Estado de Chihuahua. México.
- De la Maza-Benignos, M. y A. Frías-García. 2015. Guía de Peces de la APFF Cañón de Santa Elena. Pronatura Noreste, A.C.; CONANP y CCA. México.
- Diffendorfer, J. E., G. M. Fleming, J. M. Duggan, R. E. Champan, M. E. Rahn, M. J. Mitrovich y R. N. Fisher. 2007. Developing terrestrial, multi-taxon indices of biological integrity: An example from coastal sage scrub. *Biol Conserv*. 140(1-2): 130-141.
- Flores, J., E. Jurado, L. Chapa-Vargas, A. Ceroni-Stuva, P. Dávila-Aranda, G. Galíndez, D. Gurvich, P. León-Lobos, C. Ordóñez, P. Ortega-Baes, N. Ramírez-Bullón, A. Sandoval, C. E. Seal, T. Ullian y H. W. Pritchard. 2011. Seeds photoblastism and its relationship with some plant traits in 136 cacti taxa. *Environ. Exp. Bot*. 71: 79-88.
- Fuentes, N. 2017. Evaluación y análisis del proyecto: Control de carrizo gigante (*Arundo donax* L.) en el Río Grande/Bravo al noroeste de Coahuila. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ciencias del Suelo. División de Ingeniería. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Giraldo-López, A., W. Bolívar-García y O. Murillo. 2016. Implementación de indicadores biológicos como herramienta para evaluar cambios en la integridad ecológica de los fragmentos de bosque seco tropical presentes en Victoria-La Dorada, Caldas. Universidad del Valle. Colombia.
- Glenn, E. P., y P. L. Nagler. 2005. Comparative ecophysiology of *Tamarix ramosissima* and native trees in western U.S. riparian zones. *J Arid Environ*. 61: 419-446.

- González-Salazar, C., E. Martínez-Meyer y G. López-Santiago. 2014. A hierarchical classification of trophic guilds for North American birds and mammals. *Rev Mex Biodivers.* 85: 931-941.
- González-Valdivia, N., S. Ochoa-Gaona, C. Pozo, B. Gordon, L. J. Rangel-Ruiz, S. L. Arriaga-Weiss, A. Ponce-Mendoza. 2011. Indicadores ecológicos de hábitat y biodiversidad en un paisaje neotropical: perspectiva multitaxonómica. *Rev Biol Trop.* 59(3): 1433-1451.
- Granados-Sánchez, D., M. A. Hernández-García y G. F. López-Ríos. 2006. Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo, serie Ciencias Forestales y del Ambiente.* 12(1): 55-69.
- Granados-Sánchez, D., A. Sánchez-González, R. L. Granados, A. Borja. 2011. Ecología de la vegetación del desierto Chihuahuense. *Revista Chapingo, serie Ciencias Forestales y del Ambiente.* 17: 111-130.
- Guerra, S. 2000. Evaluación de la vegetación riparia, insectos acuáticos y peces, influenciados por las variaciones en la calidad y cantidad de los caudales de la Cuenca del Río San Juan, Nuevo León, México. 165p.
- Guevara, G., G. Reynoso, J. E. García, L. M. Franco, L. J. García, D. C. Yara, N. Briñez, M. L. Ocampo, M. I. Quintana, D. Y. Pava, N. Y. Flórez, M. F. Ávila, E. E. Hernández, L. A. Lozano, M. Guapucal, D.A. Borrero y E. J. Oyala. 2008. Aportes para el análisis de ecosistemas fluviales: una visión desde ambientes ribereños. *Tumbaga.* 3:109-127.
- Hutto RL, Pletschet SM, Hendricks P. 1986. A fixed-radius point count method for nonbreeding and breeding season use. *Auk* 103(3): 593-602.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. México. <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/> (Consultado 10 de septiembre 2017).
- IUCN 2019. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-1. Estados Unidos. <http://www.iucnredlist.org> (Consultado 20 enero 2019).
- Jenks, K. E., P. Chanteap, K. Damrongchainarong, P. Cutter, T. Redford, A. J. Lynam, J. Howard, y P. Leimgruber. 2011. Using relative abundance indices from camera-trapping to test wildlife conservation hypotheses - an example from Khao Yai National Park, Thailand. *Tropical Conservation Science* 4:113-131.

- Jones, W. M. 2005. A vegetation index of biotic integrity for small-order streams in southwest Montana and a floristic quality assessment for western Montana wetlands. Report to the Montana Department of Environmental Quality and U.S. Environmental Protection Agency, Montana Natural Heritage Program, Helena, Montana. 29 pp.
- Jurado, E., E. Estrada, A. Moles. 2001. Caracterización plant attributes with particular emphasis on seeds in Tamaulipan thornscrub in semi-arid Mexico. *J. Arid Environ.* 48: 309-321.
- Karr J. R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6(6): 21-27.
- Kaufman. 2004. *Mammals of North America*. Hillstar. E.U.A.
- Kay, J. J. 1993. On the nature of ecological integrity: some closing comments. Pp 201-212, en: Woodley, S., J. Kay y G. Francis, G. *Ecological integrity and management of ecosystems*, ST. Lucie Press, USA. 220 p.
- Krebs, C. 2009. *The experimental analysis of distribution and abundance*. 6ta edición. University of British Columbia. Canadá. 695p.
- Koleff, P. A. Lira-Noriega, T. Urquiza y E. Morales. 2007. Prioridades para la conservación de la biodiversidad en la frontera norte de México. Capítulo 11. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. México.
- Lebgue, T. y Quintana, G. 2013. *Cactáceas de Chihuahua*. Segunda edición. Proveedor Integracional y Servicios Ambientales S.A de C.V. México. 273p.
- Maffei, L., E. Cuella, y J. Noss. 2002. Uso de trampas cámara para la evaluación de mamíferos en el ecotono Chaco-Chiquitanía. *Revista Boliviana de ecología y conservación* 11:55-65.
- Meli, P., L. Ruiz, J. Carabias. 2015. *Conservación y desarrollo sustentable en la Selva Lacandona: 25 años de actividades y experiencias*. Capítulo La vegetación riparia. Editores: *Natura y Ecosistemas Mexicanos*. México.
- Moreno, C. E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T-Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- Naranjo, E. J. 2000. Estimación de abundancia y densidad en poblaciones de fauna silvestre tropical. Pp. 37-46 en E. Cabrera, C. Mercolli y R. Resquín (eds.), *Manejo de Fauna*

- Silvestre en Amazonia y Latinoamérica. Fundación Moisés Bertoni y CITES-Paraguay, Asunción, Paraguay. 578 pp.
- Navarro-Sigüenza, A. G., M. F. Rebón-Gallardo, A. Gordillo-Martínez, A. T. Peterson, H. Berlanga-García y L. Sánchez-González. 2014. Biodiversidad de aves en México. *Rev Mex Biodivers. Supl.* 85: S476-S495.
- Olivas, M., Enríquez, I., Quiñónez, M. y Pérez, E. 2012. Plantas y hongos medicinales del estado de Chihuahua. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México. 77p.
- Pacheco, J., Ceballos, G. y List, R. 2000. Los mamíferos de la Región de Janos-Casas Grandes, Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Mastozoología.* 4: 69-83.
- Parks Canada Agency. 2000. “Unimpaired for Future Generations”? Protecting Ecological Integrity with Canada’s National Parks. Vol. I “A Call to Action.” Vol. II “Setting a New Direction for Canada’s National Parks.” Report of the Panel on the Ecological Integrity of Canada’s National Parks. Ottawa, ON. Canadá.
- Parks Canada. 2017. Canadá. <https://www.pc.gc.ca/en/nature/eco/ie-ei> (Consultado 21 de agosto 2017).
- Peterson, R. 2006. A field guide to mammals: North America north of Mexico. E.U.A.
- Pérez, R., Pineda, R. y Medina, M. 2008. Integridad biótica de ambientes acuáticos. INE. México.
- Rabeil, T. 2007. Implementación de un sistema de monitoreo de los mamíferos en Chiapas (corredor Sierra Madre del Sur, zona Pico del Loro). Informe final. México, D.F.
- Reyes, M. 2006. Cactáceas del Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena, Chihuahua, México. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Instituto de Ciencias Biomédicas. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Heroica Ciudad Juárez, Chih., México.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 pp.
- Rodríguez-Olarte, D. y Taphorn, D. 1995. Los peces como indicadores biológicos: aplicación del índice de integridad biótica en ambientes acuáticos de los llanos occidentales de Venezuela. *Biollania.* 11:27-56.

- Rodríguez-Tellez, E., P. A. Domínguez-Calleros, M. Pompa-García, J. A. Quiroz-Arratia, M. E. Pérez López. 2012. Calidad del bosque de ribera del río El Tunal, Durango, México; mediante la aplicación del índice QBR. *Gayana Bot.* 69(1): 147-151.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010. Protección ambiental, especies de flora y fauna silvestres de México, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio, y lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, Jueves 30 de diciembre de 2010, 1, 1-77.
- Vázquez R. 2014. *Ecología y medio ambiente*. Grupo editorial Patria. México. 150p.
- Vélez-Restrepo, L. A. y Gómez-Sal, A. 2008. Un marco conceptual y analítico para estimar la integridad ecológica a escala de paisaje. *ARBOR Ciencia*. 31-44.
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, F., Mendoza, H., Ospina, M. y Umaña, A. M. 2006. *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Colombia. 236 p.
- Westra, L. 1995. Ecosystem integrity and sustainability: The foundational value of the wild. Westra, L., John, L. (Eds.), *Perspectives on ecological integrity*. Environmental science and technology library, Kluwer academic publishers, Netherlands, pp. 12-33.
- Whitacre, D. 1997. Un programa de monitoreo ecológico para la Reserva de la Biósfera Maya. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y Consejo Nacional de Áreas Protegidas de Guatemala (CONAP). Guatemala. 119 p.

9. ANEXOS

Anexo 1. Encuesta aplicada al panel de especialistas para la evaluación de la importancia ecológica de los indicadores biológicos y exigencias primarias de hábitat.

Ponderación para índice de integridad biológica de áreas ribereñas del APFF Cañón de Santa Elena

Se diseñó un **Índice de Integridad Biológica (IBI)** para evaluar la **Integridad Ecológica** de áreas ribereñas del Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena.

La información que utiliza este índice son la composición y estructura ecológica de las áreas, así como la función que las especies ahí presentes, desempeñan dentro del hábitat. Para obtener esta información se realizó un monitoreo sistemático de cuatro grupos taxonómicos, los cuales fueron **peces, vegetación de tipo ribereña, aves y mamíferos terrestres**.

Dentro del IBI existen niveles que representan información intrínseca tanto a los grupos taxonómicos como a las especies registradas.

Dos de estos niveles se decidió ponderarlos con especialistas, con la finalidad de obtener valores más específicos.

El **primer nivel** habla sobre la importancia de presencia de los grupos taxonómicos en las áreas, es decir, considerando que el objetivo es conocer la integridad de las áreas ribereñas la cual puede verse modificada por presiones ambientales como las sequías o los cambios de temporadas y antropogénicas tales como, la desviación de agua de los arroyos para el uso de la agricultura, la ganadería libre y usos recreativos ¿qué grupo taxonómico de los cuatro antes mencionados, cuenta con mayor importancia de presencia?

Basados en lo anterior, favor de ponderar los grupos taxonómicos de acuerdo con su criterio, considerando que 4 es el grupo con mayor importancia y 1 con menor.

Grupo taxonómico	Valor de ponderación
Aves	
Peces	
Mamíferos terrestres	
Vegetación de tipo ribereña	

El **segundo nivel** se basa en los requerimientos de hábitat y gremios tróficos de las especies, en relación con las áreas de estudio, en este caso ribereñas. Es decir, se pondera en base a que la mayor proporción de alguno de los grupos taxonómicos pertenezca a un gremio trófico en particular, o bien, en el caso de las plantas requiera de otros factores para su dispersión.

Basados en lo anterior, favor de ponderar los tipos de dispersión en las plantas en una escala del 5 al 1, colocando el 5 al tipo de dispersión que considere sea un mejor indicador del equilibrio o integridad en estos hábitats y el 1 al tipo de dispersión con menor requerimiento.

Vegetación ribereña	
Tipo de dispersión	Valor de ponderación
Anemocoria	
Autocoria	
Ectocoria	
Endozoocoria	
Hidrocoria	

Pasando a los gremios tróficos en el caso de las aves, favor de ponderar en una escala del 7 al 1, siendo el 7 el gremio trófico que refleje una mejor salud en el hábitat y 1 el que menos.

Aves	
Gremio trófico	Valor de ponderación
Carnívoro	
Carroñero	
Frugívoro	
Granívoro	
Insectívoro	
Nectívoro	
Omnívoro	

Por último y con relación a los mamíferos terrestres, favor de ponderar los gremios tróficos en una escala del 6 al 1, siendo el 6 el gremio trófico que refleje una mejor salud en el hábitat y 1 el que menos.

Mamíferos terrestres	
Gremio trófico	Valor de ponderación
Carnívoro	
Carroñero	
Granívoro	
Herbívoro	
Insectívoro	
Omnívoro	