

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES**

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN PLANEACIÓN
Y DESARROLLO SUSTENTABLE**



Evaluación de los Servicios Ecosistémicos en humedales urbanos: el caso del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre, en Mexicali, B.C.

T E S I S

Que para obtener el grado de
Doctor en Planeación y Desarrollo Sustentable

PRESENTA

Mariana Jácome Ibarra

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Osvaldo Leyva Camacho

Mexicali, Baja California

Junio 2022

DEDICATORIA

A papá y mamá⁺

A Alberto,

A mis hermanos (presentes y ausentes)

A mis queridos sobrinos (chiquitos y grandotes)

A mis amigos (más que hermanos)

¡Gracias totales!

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Osvaldo Leyva Camacho, quien con sus conocimientos y apoyo me guió a través de cada una de las etapas de este proyecto.

A la Dra. Adriana Margarita Arias Vallejo, por su apoyo incondicional para finalizar esta etapa como tesista.

Al Dr. Gonzalo de la Fuente de Val, por su valiosa orientación y guía en el desarrollo del tema de Estudios de paisaje.

Al gran equipo de “Salvemos a las Lagunas”, por estar siempre presentes y nunca dejar de apoyarme, aunque estuviera ausente. Sin ese soporte en el momento oportuno, simplemente no hubiera culminado con todo esto. Rodrigo, Paty, Julio, Xóchitl, Edna, Gaby, Sam, Mayra y Dennise. Gracias por las porras a lo largo de todo este camino.

“Nosotros no salvamos a las lagunas, al contrario, ellas nos salvan a nosotros”

RESUMEN

El sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre forma parte del Sistema de Humedales Remanentes del Delta del Río Colorado, considerados humedales imprescindibles para el mantenimiento hídrico de una ciudad desértica como Mexicali. Sin embargo, este sistema lagunar ha sido ignorado en la planeación urbana de la ciudad por lo que se corre el riesgo de perder los servicios ecosistémicos que ofrece a la ciudad. A través de la metodología RAWES se evidenció que los servicios de provisión del hábitat, regulación del clima y calidad del aire son los servicios más importantes que ofrece este sistema a la ciudad. Sin embargo, el crecimiento de la ciudad ejerce una gran presión sobre este sistema de humedales. En el análisis del paisaje se obtuvieron tres unidades de paisaje: sistema lagunar, área agrícola y periferia urbana. El área de la periferia urbana obtuvo el menor valor de calidad visual, mientras que el sistema lagunar obtuvo el valor mayor. El análisis FODA indica la existencia de unidades de paisaje atractivas y con potencial eco-turístico y de conservación, pero las restricciones normativas y el desconocimiento por parte de la población complican su manejo y apropiación de estas unidades de paisaje. Los resultados de la encuesta muestran que la población con mayor tiempo de residencia en la ciudad tiene mayor conocimiento de las lagunas existentes, así como también es la más proactiva en las propuestas de mejoramiento del paisaje del sistema lagunar. La información generada se usará para el diseño del manejo de cauces y de actividades eco-turísticas, así como la propuesta de actividades socioculturales y de educación ambiental para que la población se apropie y ayude en la conservación y protección de este sistema de humedales.

Palabras clave: humedales urbanos, humedales en zonas áridas, servicios ecosistémicos, Estudios del paisaje, manejo urbano de humedales.

ABSTRACT

The México-Xochimilco-Campestre lagoon system is part of the System of Remnant Wetlands of the Colorado River Delta, considered essential wetlands for the water maintenance of a desert city like Mexicali. However, this lagoon system has been ignored in the urban planning of the city, so there is a risk of losing the ecosystem services it offers to the city. Through the RAWES methodology, it was shown that the services of habitat provision, climate regulation and air quality are the most important services offered by this system to the city. However, the growth of the city puts great pressure on this wetlands system. In the landscape analysis, three landscape units were obtained: lagoon system, agricultural area and urban periphery. The area of the urban periphery obtained the lowest visual quality value, while the lagoon system obtained the highest value. The SWOT analysis indicates the existence of attractive landscape units with eco-tourism and conservation potential, but regulatory restrictions and lack of knowledge on the part of the population complicate their management and appropriation of these landscape units. The results of the survey show that the population with the longest residence time in the city has greater knowledge of the existing lagoons, as well as being the most proactive in the proposals for improving the landscape of the lagoon system. The information generated will be used for the design of riverbed management and eco-tourism activities, as well as the proposal of sociocultural and environmental education activities so that the population appropriates and helps in the conservation and protection of this wetland system.

Keywords: Wetlands in arid zones, Landscape study, ecosystem services, urban management of wetlands.

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Declaro que la tesis que se presenta contiene material original que no ha sido presentado para la obtención de un grado académico o diploma en esta u otra institución de educación superior. Asimismo declaro que hasta donde yo sé no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de las citas.

Mexicali, Baja California a 21 de junio de 2022

Mariana Jaime.

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	9
LISTA DE FIGURAS	11
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Planteamiento del problema.....	15
1.2 Preguntas de investigación.....	17
1.3 Objetivos.....	18
1.4 Hipótesis.....	18
1.5. Justificación.....	19
1.6 Estructura de la tesis.....	24
II. MARCO TEÓRICO	26
2.1 Sustentabilidad	26
2.2 Humedales.....	32
2.2.1 Clasificación de los humedales.....	33
2.3 Servicios ecosistémicos.....	37
2.4 Ecosistema natural.....	46
2.4.1 Fuerzas y flujos en la producción de un sistema.....	52
2.5 Ecosistema urbano.....	54
2.6 El paisaje y su planeación.....	60
III. ESTADO DEL ARTE	62
3.1 Servicios ecosistémicos en Humedales.....	62
3.2 Estudios de paisaje en Humedales.....	63
IV. MARCO METODOLÓGICO.....	65
4.1 Descripción del área de estudio.....	65
4.1.1 Fisiografía.....	66
4.1.2 Hidrología.....	66
4.1.3 Clima.....	67
4.1.4 Geología.....	67
4.1.5 Tipos de Suelos.....	68
4.1.6 Vegetación.....	68
4.1.7 Fauna.....	70
4.2 Crecimiento urbano.....	76
4.3 Cambios morfológicos (área del espejo de agua) del sistema lagunar.....	78
4.4 Método RAWES.....	80
4.4.1 Etapa 1. Preparación.....	80

4.4.2 Etapa 2. Evaluación sobre el terreno.....	81
4.4.3 Etapa 3. Gestión de la información.....	82
4.4.4 Análisis de datos.....	82
4.5 Estudio del paisaje.....	84
4.5.1 Fase I. Análisis y caracterización del paisaje.....	84
4.5.2 Fase II. Valoración del paisaje.....	85
4.5.3 Fase III. Plan de Ordenación del paisaje.....	88
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES	89
VI. CONCLUSIONES	124

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación y tipos de humedales según la Convención Ramsar.....	34
Tabla 2. Clasificación de los servicios ecosistémicos.	39
Tabla 3. Categorías de la clasificación de los servicios ecosistémicos.....	41
Tabla 4. Clasificación de servicios ecosistémicos.	42
Tabla 5. Servicios ecosistémicos clasificados por tipo de humedal y por tipo de aportación al abastecimiento de los servicios.	45
Tabla 6. Especies de vegetación identificadas en el sistema lagunar México-Xochimilco Campestre.	69
Tabla 7. Especies de artrópodos identificadas en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.	71
Tabla 8. Especies de insectos identificadas en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.	71
Tabla 9. Especies de moluscos identificadas en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.	72
Tabla 10. Especies de peces identificadas en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.	72
Tabla 11. Especies de reptiles identificadas en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.	73
Tabla 12. Especies de mamíferos identificadas en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.	73
Tabla 13. Especies de aves identificadas en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.	73
Tabla 14. Escala usada para evaluar los servicios ecosistémicos de los humedales in situ.	82
Tabla 15. Escala numérica para convertir los valores obtenidos en la evaluación realizada en los humedales a una escala numérica ordinal.	83
Tabla 16. Escala de beneficios.....	83
Tabla 17. Valores de cada eje para evaluar los ejes de la Matriz de Posición Estratégica y Evaluación de Acción (MPEEA).....	87
Tabla 18. Evaluación de los servicios ecosistémicos in situ en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.	90
Tabla 19. Valores ponderados de los servicios ecosistémicos en cada uno de los sitios evaluados en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.	92
Tabla 20. Resultados de las pruebas estadísticas.	93
Tabla 21. Beneficios de los servicios ecosistémicos en cada uno de los sitios evaluados en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.....	98
Tabla 22. Caracterización de la unidad de paisaje. Sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.	102
Tabla 23. Caracterización de la unidad de paisaje. Área agrícola.	103

Tabla 24. Caracterización de la unidad de paisaje. Periferia urbana.	103
Tabla 25. Matriz FODA de las unidades de paisaje.....	104
Tabla 26. Matriz de Evaluación de los Factores Internos (MEFI) de las unidades de paisaje.	105
Tabla 27. Matriz de Evaluación de los Factores Externos (MEFE) de las unidades de paisaje.	106
Tabla 28. Matriz de las Amenazas, Oportunidades, Debilidades y Fortalezas (MAFE) de las unidades de paisaje.	107
Tabla 29. Matriz de Posición Estratégica y Evaluación de la Acción (MPEEA).	108
Tabla 30. Criterios y puntaje de evaluación establecidos en BLM.....	110
Tabla 31. Clases de calidad visual establecidos en BLM.	111
Tabla 32. Evaluación de la calidad paisajística del sistema lagunar México-Xochimilco- Campestre.	112
Tabla 33. Evaluación de la calidad paisajística del área agrícola.	113
Tabla 34. Evaluación de la calidad paisajística de la periferia urbana alrededor del sistema lagunar.....	114
Tabla 35. Objetivos de ordenamiento para las tres unidades de paisaje.....	119
Tabla 36. Programas para cada una de las tres unidades de paisaje	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Promedios anuales de temperatura del planeta desde 1850 hasta 2025. Fuente (OMM, 2021).....	19
Figura 2. Disminución en la superficie total de humedales costeros y continentales. Fuente R. Gardner et al., (2015).	21
Figura 3. Pilares y dimensiones de la sustentabilidad. Modificado de Martínez-Castaño, (2013).....	28
Figura 4. Triángulo del Desarrollo Sostenible de Kijkamp. Fuente: Nijkamp et al., (1990)	29
Figura 5. Relación entre los humedales y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Modificado de Gardner & Finlayson, (2018).	31
Figura 6. Tipos de humedales que pueden hallarse en una cuenca. Fuente: (Cervantes, 2007).	33
Figura 7. Clasificación servicios ecosistémicos. Modificado de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, (2005).....	40
Figura 8. Relación entre los servicios ecosistémicos intermedios, finales y sus beneficios. Modificado de Camacho-Valdez & Ruiz-Luna, (2012).	43
Figura 9. Localización del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre. Fuente: elaboración propia. Con base en ArcGis 10.2.....	65
Figura 10. Especies más comunes de vegetación que habitan el sistema lagunar México-Xochimilco Campestre. Fuente: elaboración propia.....	70
Figura 11. Algunas de las especies de aves que habitan el sistema lagunar México-Xochimilco Campestre. Fuente: elaboración propia.....	75
Figura 12. Crecimiento de la mancha urbana de Mexicali alrededor del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre, desde 1970 hasta 2018. Fuente: Elaboración propia. Con base en ArcGis 10.2.	76
Figura 13. Cambios en el uso de suelo alrededor del sistema lagunar de 2014 a 2018. Fuente: Elaboración propia. Con base en ArcGis 10.2.....	77
Figura 14. Superficie de espejo de agua del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre en 2016. Fuente: elaboración propia. Con base en (CONAGUA, 2016).....	78
Figura 15. Superficie del espejo de agua del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre en 2020. Fuente: elaboración propia.....	79
Figura 16. Etapas y pasos de la Metodología RAWES. Fuente: Elaboración propia con base en McInnes & Everard, (2017).	80
Figura 17. Localización de los sitios de evaluación en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre. Fuente: elaboración propia. Con base en ArcGis 10.2.	81
Figura 18. Fases de la metodología aplicada. Fuente: Elaboración propia. Con base en: de la Fuente (2015) y Muñoz-Criado (2012).....	84

Figura 19. Servicios de suministro evaluados en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre. Fuente: Elaboración propia.....	94
Figura 20. Servicios de regulación evaluados en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre. Fuente: Elaboración propia.....	95
Figura 21. Servicios culturales evaluados en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre. Fuente: Elaboración propia.....	96
Figura 22. Servicios de soporte evaluados en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre. Fuente: Elaboración propia.....	97
Figura 23. Unidades de paisaje caracterizadas. (1) Sistema lagunar, (2) Área agrícola y (3) Periferia urbana. Fuente: Elaboración propia. Con base en QGIS 3.14.	101
Figura 24. Gráfica de la coordenada de la matriz MPEEA. Fuente: elaboración propia. Con base en Ponce, (2006)	109
Figura 25. Sistema lagunar México-Xochimilco-campestre. Archivo de la autora.....	112
Figura 26. Área agrícola en los alrededores del sistema lagunar. Archivo de la autora..	113
Figura 27. Fraccionamientos en los alrededores del sistema lagunar. Archivo de la autora.	114
Figura 28. Respuestas de los entrevistados a la pregunta 8. Fuente: elaboración propia.	116
Figura 29. Valoración de los entrevistados sobre las actividades que mayor daño causan al sistema lagunar, donde 3 es mucho daño y 1 es nada de daño. Fuente: elaboración propia.	117
Figura 30. Respuestas de los entrevistados a la pregunta 11. Fuente: elaboración propia.	118

I. INTRODUCCIÓN

Los humedales son ecosistemas altamente productivos al ser albergue de una gran diversidad biológica; además de representar las mayores fuentes de agua, nutrientes y alimento de las que no sólo depende el hombre y sus comunidades, sino también incontables especies tanto vegetales como animales (S. de la C. de Ramsar, 2014). Según la Convención Ramsar, un humedal es “*toda área terrestre inundada o saturada de agua de manera estacional o permanente*” (S. de la C. de Ramsar, 2014). Además suministran diversos servicios ecosistémicos tales como regulación del clima, regulación de la calidad del aire, regulación hídrica, regulación de la erosión, depuración de agua, suministro de fibras, combustibles y alimento, fuente de agua dulce y almacenamiento de carbono, entre otros servicios (CONANP, 2012; Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005).

Sin embargo, la mayoría de los estudios realizados hasta ahora demuestran que en la mayoría de los países, tanto la superficie como la calidad de los humedales siguen disminuyendo. Según estimaciones científicas desde 1900 ha desaparecido el 64% de los humedales en el planeta, sobre todo en Asia, con un ritmo de pérdida mayor en humedales continentales que en los costeros (C. Ramsar, 2016). Situación aún más crítica para los humedales localizados en zonas áridas y semiáridas del mundo. Entre las causas principales de esta disminución están el cambio en el uso de suelo con el fin de aumentar la superficie agrícola y urbana, la sobreexplotación de recursos hídricos y el aumento en el desarrollo de infraestructuras urbanas (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005; Ramsar, 2015b).

En el caso de México, este problema toma mayor relevancia ya que el 65% de su superficie terrestre está formado por zonas áridas y semiáridas donde vive aproximadamente el 46% de la población (De La Maza-Benignos et al., 2014). El municipio de Mexicali tiene un clima seco, desértico, árido, cálido y muy extremo, con una baja precipitación pluvial características típicas del desierto Sonorense (*Gobierno Del Estado de Baja California*, 2014; Villanueva-Solís, 2015). No obstante, en él están ubicados dos humedales registrados como sitios Ramsar: los “Humedales del Delta del Río Colorado” y los “Humedales Remanentes del Delta del Río Colorado” (CONANP, 2012).

Sin embargo, la investigación realizada en ambos sitios Ramsar es desigual, tal y como lo demuestran la gran cantidad de trabajos realizados en los “Humedales del Delta del Río Colorado: (García-Díaz & Ojeda-Revah, 2013; García-Hernández et al., 2009; Granillo et al., 2012; Hinojosa-Huerta et al., 2004; Hinojosa-Huerta, Guzmán-Olachea, et al., 2013; Hinojosa-Huerta, Soto-Montoya, et al., 2013; Hinojosa-Huerta & Carrillo-Guerrero, 2010b; Zamora-Arroyo et al., 2005); mientras que no existe mucha información a la fecha acerca del sitio Ramsar “Humedales Remanentes del Delta del Río Colorado” (Baeza-Herrera et al., 2010; Domínguez-Tapia, 2011; Granillo et al., 2012; Jácome-Ibarra & Leyva-Camacho, 2015; Jácome Ibarra et al., 2022); siendo éstos últimos los más amenazados ya que debido a la gran transformación que ha sufrido el Delta del Río Colorado en los últimos años, son los humedales más dispersos y aislados, con gran cantidad de áreas fragmentadas que han sido absorbidas por el crecimiento de la ciudad y la expansión del área agrícola del Valle de Mexicali, donde las áreas más visibles para la mayoría de la población son el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre que se encuentra ya embebido dentro de la ciudad de Mexicali.

El sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre se ubica en la zona sur de la ciudad. Esta misma zona tuvo a partir de la década de 1990 el mayor crecimiento, debido principalmente al incremento de la población. Sin embargo, este crecimiento urbano fue disperso, desordenado y falto de regulación por parte de las autoridades (Barrera Mejía et al., 2020), y donde la mayoría de las nuevas viviendas se habitaron en un periodo de siete años a una tasa de crecimiento anual del 61% (Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Mexicali. IMIP, 2007). Esta propensión originó que se anexara una mayor superficie que la proyectada al desarrollo urbano, lo que produjo una disminución de las áreas de inundación del sistema lagunar. Es por esto que se hace imprescindible considerar a los humedales en la planeación urbana de la ciudad y del valle, ya que como lo menciona la propia convención Ramsar en su página en internet: “*los humedales urbanos hacen que las ciudades sean más agradables para vivir*”.

1.1 Planteamiento del problema

Los humedales se consideran uno de los ambientes más ricos ecológicamente hablando, ya que además de albergar un sinnúmero de especies tanto vegetales como animales, prestan diversos servicios ecológicos al hombre (Centro de Biología Molecular Severo Ochoa., 2018; CONANP, 2012; Howard, 2007; Rogers, 2005). Sin embargo, el crecimiento poblacional, el desarrollo de la infraestructura urbana, el cambio en el uso del suelo, la sobreexplotación de los recursos que albergan y la contaminación entre otras actividades antropogénicas, han generado grandes pérdidas en la superficie de estos ecosistemas, lo que a su vez han propiciado la degradación de los humedales y la pérdida de sus servicios (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005).

Mexicali es una ciudad con un crecimiento poblacional acelerado. Según el Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado, la tasa anual de crecimiento poblacional era de 1.8% para el año 2020, superior al valor nacional de 1.1% para el mismo periodo (Instituto Nacional de Geografía e Informática, 2021). Sin embargo, este crecimiento produce un fuerte impacto en los recursos naturales para solventar las necesidades de vivienda, escuelas, vialidades e infraestructura para una ciudad en desarrollo. De igual forma, Mexicali se considera un valle agrícola y pecuario con una superficie aproximada de 200 mil hectáreas donde se producen diversos cultivos como trigo, algodón, alfalfa, sorgo, entre otros; y se explotan especies pecuarias como ganado bovino, porcino, ovino, caprino y cunícola (Gobierno Del Estado de Baja California, 2014). Actividades productivas que también ejercen una gran presión sobre los humedales.

En Mexicali y su Valle está ubicado el Sistema de Humedales Remanentes del Delta del Río Colorado (SHRDRC), catalogado desde el 2008 como el sitio No. 1822 en la Lista de Sitios Ramsar, (Márquez-Huitzil & Peters-Recagno, 2008; S. de la C. de Ramsar, 2014). El SHRDRC es un sistema de gran importancia ecológica ya que representa el hábitat de aproximadamente 350 especies de aves que residen en esos humedales de forma temporal o permanente; además de ser lugar de parada para aves migratorias en su viaje desde Canadá o Estados Unidos hacia el sur del continente americano, conocido como Ruta del Pacífico

(Pacific Flyway), lo cual resalta su importancia ecológica internacional (Hinojosa-Huerta, et al., 2013).

Además, dentro del registro de ejemplares del SHRDRC hay especies de aves en peligro de extinción, amenazadas, bajo protección especial o protegidas tanto en el Estado de California, como a nivel federal en los Estados Unidos y México (Hinojosa-Huerta et al., 2004; Márquez-Huitzil & Peters-Recagno, 2008). Situación que se agrava en México ya que aunque existe una Política Nacional de Humedales, que intenta ser “*un instrumento rector que defina las prioridades, coordine las acciones y establezca metas integrales, dirigidas a tener una mejor planeación y gestión para el aprovechamiento sustentable y la protección de los humedales mexicanos*” (SEMARNAT, 2015), no existen leyes concretas que protejan los humedales y por lo tanto a toda la biodiversidad que existe en ellos. Aunque existen diversas leyes, reglamentos y normas que tienen alguna injerencia en la protección, conservación y uso sustentable de los humedales, éstas son insuficientes para preservar estos ecosistemas en el país (Travieso-Bello, 2009).

En este sentido, el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre forma parte del SHRDRC por lo que se considera un bien nacional sujeto a la protección de las leyes nacionales y estatales como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), que tiene entre sus objetivos el de la preservación y protección de la biodiversidad, así como la preservación, restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas (Granillo et al., 2012).

Sin embargo, el uso de suelo en la zona del sistema lagunar antes de la década de 1990 era primariamente suelo agrícola en las inmediaciones del cuerpo de agua. No obstante, es a partir de esta misma década que se da el mayor cambio en el uso de suelo agrícola a suelo urbano (Barrera Mejía et al., 2020). Aunque en el propio Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Mexicali 2025 (PDUCP 2025) considera al sistema lagunar como un área de conservación ecológica donde establece que el desarrollo urbano debe ser limitado con el fin de evitar que se altere el equilibrio ecológico en esa zona (Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Mexicali. IMIP, 2007); es en

ese mismo periodo de 1990 que detona el desarrollo económico de la ciudad. Este desarrollo se ve beneficiado por los cambios en la legislación sobre la propiedad agraria de esos años, y que tanto el gobierno federal como el estatal fueron permisivos con respecto a las políticas urbanas de vivienda, lo que ocasionó que fueran las constructoras privadas quienes tomaran decisiones acerca de la planeación urbana y de vivienda de la ciudad (Barrera Mejía et al., 2020). Con lo que el cambio en el uso de suelo donde se ubica el sistema lagunar se convirtió en una actividad de uso común por parte de los tomadores de decisión para dar solución al crecimiento de la ciudad.

Bajo este contexto, es prioritario integrar los humedales del Sistema de Humedales Remanentes del Delta del Río Colorado (SHRDRC) en la planeación urbana de la ciudad de Mexicali para su protección, principalmente el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre, debido a que son pocas las áreas naturales con que cuenta la región; además que es escasa la atención que se le da a estos ecosistemas por parte de las instituciones gubernamentales y de los tomadores de decisión. Por lo que cualquier cambio en la aptitud natural de un humedal por pequeño que sea, debe ser considerado como crítico.

1.2 Preguntas de investigación.

El crecimiento de la ciudad de Mexicali durante los últimos 48 años ha afectado los humedales que existen en la ciudad, lo que hace imprescindible evaluar los servicios ecosistémicos que prestan estos humedales, particularmente los que integran el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre. Por lo que se plantea lo siguiente:

¿Cuáles son los servicios ecosistémicos que prestan los humedales del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre?

Los cuestionamientos secundarios son:

- a) ¿Cuáles son los cambios en el uso del suelo en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre de 2014 a 2018?

- b) ¿Cuáles son los cambios morfológicos (área del espejo de agua) del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre de 2016 a 2020?
- c) ¿Cuáles son los cambios en el paisaje del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre?

1.3 Objetivos.

Objetivo general

Evaluar los servicios ecosistémicos de los humedales a través de la integración de metodologías de ordenamiento ecológico y el análisis de paisaje del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre en Mexicali, Baja California.

Objetivos específicos

- a) Estimar los cambios de uso de suelo en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre de 2014 a 2018.
- b) Estimar los cambios morfológicos (área del espejo de agua) del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre de 2016 a 2020.
- c) Valorar los cambios en el paisaje en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.

1.4 Hipótesis.

El proceso de expansión urbana en la ciudad de Mexicali ocurrido de 1970 a 2018 afectó la prestación de los servicios ecosistémicos de los humedales del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre y su sustentabilidad.

1.5. Justificación.

El objetivo principal de la 21ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP21) fue disminuir en 2°C la temperatura que tenía el planeta antes de la época de la industrialización, lo que según los expertos del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), logrará al reducir la concentración de gases de efecto invernadero producto de la quema de combustibles fósiles, mientras permite que los países puedan seguir creciendo y se les ofrezca ayuda a los menos desarrollados (McGrath, 2015). Sin embargo, debido a las actuales emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente bióxido de carbono (CO₂), el promedio en la temperatura del planeta ha aumentado 0.85°C durante las últimas décadas (Figura 1).

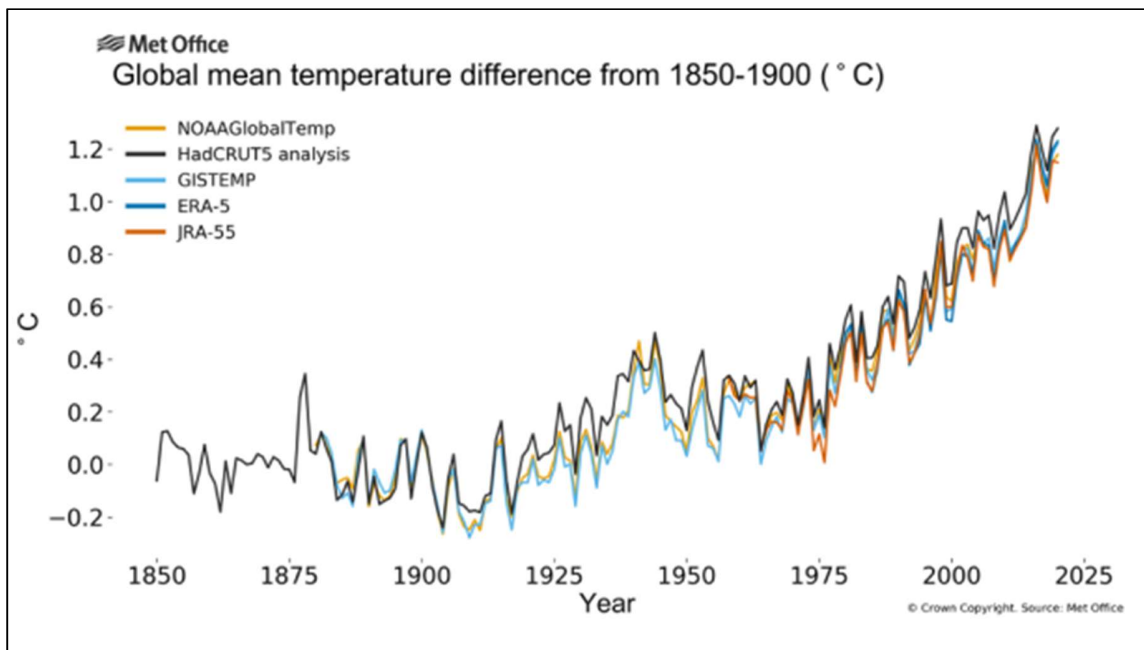


Figura 1. Promedios anuales de temperatura del planeta desde 1850 hasta 2025. Fuente (OMM, 2021).

Según el IPCC este aumento ha producido grandes efectos en el planeta como el derretimiento de los casquetes polares, el incremento en el nivel medio del mar, con las consecuentes inundaciones en las ciudades costeras, periodos de lluvias y sequías más intensos, entre otros efectos. El IPCC ha proporcionado diferentes escenarios, el más

pesimista es que si no se hace nada y el mundo avanza en su curso actual, la temperatura global se incrementará en promedio 4°C al final de este siglo, con severas consecuencias para todo el sistema terrestre (Masson-Delmotte et al., 2018).

Bajo el actual escenario de cambio climático, los investigadores afirman que el aumento incluso de un grado de temperatura hará que algunos sistemas no puedan resistir el impacto, y entre estos ecosistemas están los humedales. Sin embargo, son los propios humedales los que mayores adaptaciones tienen ante el cambio climático, entre las más importantes están el aprovisionamiento y mantenimiento de agua de calidad, la regulación de los regímenes hidrológicos, la protección contra la erosión, las inundaciones y la pérdida de suelos, así como la regulación del clima (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005).

Por ejemplo, la regulación hídrica es uno de los servicios ecológicos más importantes que prestan los humedales ubicados en zonas áridas y semiáridas, debido a que contribuyen con la recarga de acuíferos que son la principal fuente de agua disponible para las ciudades cercanas a esos ecosistemas (Castro et al., 2013).

Sin embargo, la recarga de acuíferos es un proceso que depende de diversos factores tales como el volumen de las precipitaciones pluviales, la cobertura vegetal y la edafología del suelo, lo que hace altamente variable el volumen de recarga de los acuíferos (Wilson & Guan, 2004), situación que hace necesario el manejo adecuado del mantenimiento de los servicios ambientales que prestan los humedales de zonas áridas y semiáridas, para sostener el abasto de agua de las ciudades aledañas donde se ubican estos ecosistemas.

No obstante, el proceso de urbanización es el principal factor que influye en las alteraciones de los humedales y los beneficios que ofrecen al hombre, como lo mencionan Estrada-Loreto y colaboradores (2013) y Friedman-Buenfil, (2009) los cambios en el uso del suelo con fines agrícolas, uso industrial, crecimiento de infraestructura turística así como de la mancha urbana, han reducido las áreas funcionales de los humedales disminuyendo no sólo la recarga de los acuíferos, sino también afectando el resto de los servicios ecosistémicos que los humedales proporcionan.

Sin embargo, hoy en día la mayoría de los estudios realizados en el tema señalan que la superficie total de los humedales en el mundo ha disminuido en un 64%, siendo los humedales continentales los que presentan la mayor tasa de pérdida que los humedales costeros (Ramsar, 2006), (Figura 2). Lo que se agrava aún más para los humedales localizados en zonas áridas y semiáridas del mundo, debido principalmente a la sobreexplotación de los recursos hídricos para satisfacer el consumo residencial, el desarrollo agrícola e industrial; además del cambio en el uso del suelo y la contaminación producidas por las dinámicas de urbanización, entre otras actividades antropogénicas que afectan a los humedales (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005).

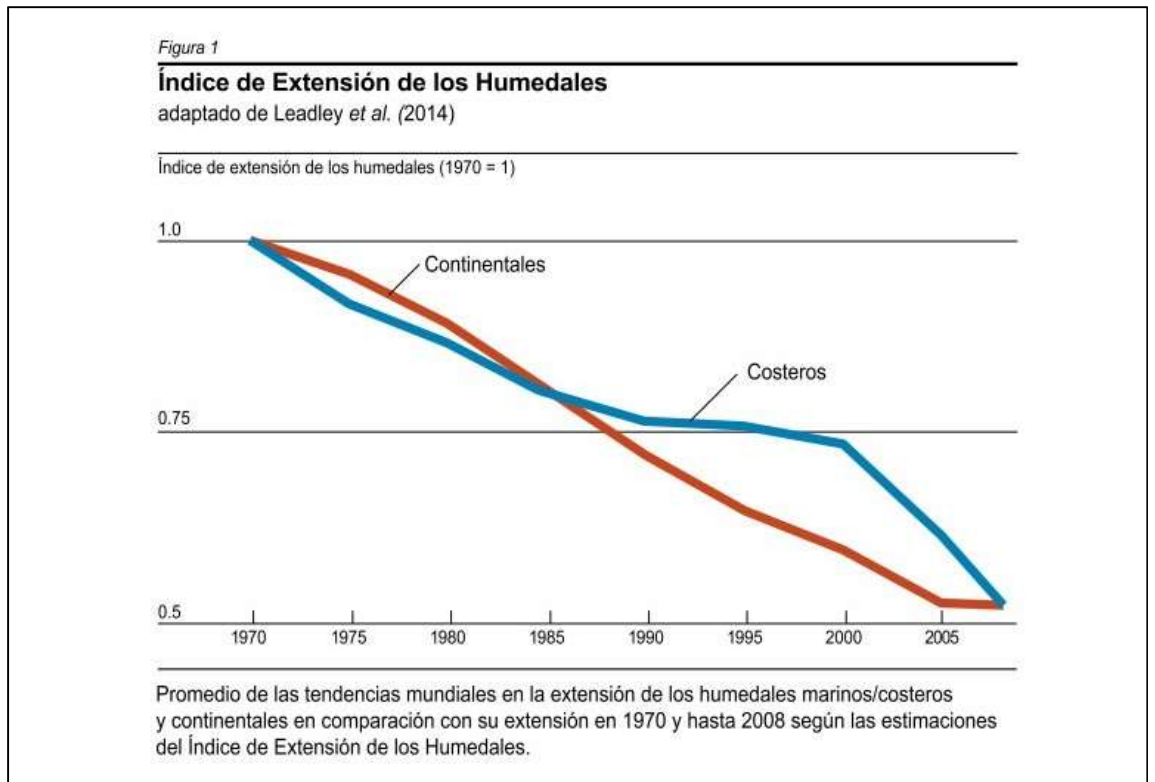


Figura 2. Disminución en la superficie total de humedales costeros y continentales. Fuente R. Gardner *et al.*, (2015).

En el caso de México el problema toma mayor relevancia, ya que el 65% de su superficie se compone por zonas áridas y semiáridas donde reside aproximadamente el 46% de la población (De La Maza-Benignos *et al.*, 2014). El municipio de Mexicali presenta un

clima árido, seco, cálido, desértico y muy extremo, con una baja precipitación pluvial, características típicas del desierto Sonorense (*Gobierno Del Estado de Baja California*, 2014; Villanueva-Solís, 2015). Sin embargo, en él se localizan dos humedales importantes registrados como sitios Ramsar: los “Humedales del Delta del Río Colorado” (sitio No. 814) y los “Humedales Remanentes del Delta del Río Colorado” (sitio No. 1822) (CONANP, 2012).

Los Humedales Remanentes del Delta del Río Colorado (SHRDRC) forman un sistema que sigue las líneas de depósito natural del agua en la zona antigua que originalmente cubría el Delta del Río Colorado. Sin embargo, la zona del cauce y del delta del río han sufrido una enorme alteración a causa de los procesos de urbanización y al establecimiento del valle agrícola de Mexicali. Entre los cambios más importantes se destacan la construcción de presas y canales de agua para uso humano que a la fecha impactan el caudal superficial y subterráneo del río, así como la expansión de la zona agrícola del Valle de Mexicali que utiliza también agua del Río Colorado (Hinojosa-Huerta y Carrillo-Guerrero, 2010). A estos cambios se añade la baja precipitación pluvial de la región (*Gobierno Del Estado de Baja California*, 2014; Villanueva-Solís, 2015). Por lo que algunos de los humedales pertenecientes al Sistema de Humedales Remanentes del Delta del Río Colorado (SHRDRC) actualmente se encuentran aislados y pueden percibirse como pequeños fragmentos asociados con áreas mayores que forman el sistema de humedales, tal y como sucede con el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre (Márquez-Huitzil y Peters-Recagno, 2008).

El sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre se localiza en la zona sur de la ciudad de Mexicali. Se une al subsistema hídrico de la Cuenca Baja del Río Nuevo que en la actualidad funciona como drenaje pluvial y dren agrícola de aguas de descarga del Distrito de Riego 014 (Baeza-Herrera et al., 2010; Domínguez-Tapia, 2011). El Río Colorado utilizaba este subsistema hídrico en el pasado para dar salida a sus grandes crecidas hacia Salton Sea en California, EU (Samaniego López, 2008; Walther, 1991).

Sin embargo, la zona donde se ubica el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre, ha tenido desde la década de los años noventa el mayor crecimiento urbano al desarrollarse nuevos fraccionamientos habitacionales. La tendencia tuvo como resultado la

incorporación al desarrollo urbano de un mayor número de hectáreas a las proyectadas, consolidando así la urbanización del sur de la ciudad de Mexicali (Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Mexicali. IMIP, 2007).

Sin embargo, todos los humedales en la zona del SHRDRC por pequeños que sean, son de gran importancia, ya que además de prestar servicios ecosistémicos para paliar el cambio climático, son reservorios de la biodiversidad y representan el hábitat de diversas especies de aves migratorias y residentes de la región del Gran Desierto Sonorense. La zona del SHRDRC se confina en zonas donde existe una mayor humedad del suelo, los cuerpos de agua y la vegetación se ven favorecidos brindando un hábitat único para las especies de aves migratorias y nativas (Hinojosa-Huerta, Guzmán-Olachea, et al., 2013). A la fecha se tiene registro de más 250 especies de aves aproximadamente. Esto se debe también a que la zona se encuentra ubicada dentro de la franja del corredor Pacific Flyway, ruta migratoria de las aves que viajan desde Norteamérica hacia el sur del continente. Dentro de estas especies, Hinojosa-Huerta y colaboradores (2004) mencionan que al menos trece se encuentran protegidas por la legislación del Estado de California, México, o la de Estados Unidos como el palmoteador de Yuma, (*Rallus longirostris yumanensis*), el mosquero saucero (*Empidonax traillii*) y el ralito negro (*Laterallus jamaicensis coturniculus*). Lo cual significa que para el mejor manejo de estos recursos naturales en la región, es necesario generar información que permita evaluar los efectos de la expansión urbana de la ciudad de Mexicali sobre los servicios ecosistémicos que suministra el Sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre, e identificar las prioridades para su protección y conservación, con el fin de establecer medidas de manejo para hacerle frente al cambio climático.

A pesar que el sistema lagunar México-Xochimilco Campestre forma parte de la Cuenca baja del Río Nuevo, éste último es la salida del sistema lagunar México-Xochimilco Campestre y hoy en día se encuentra embovedado. Según Salazar-Briones (2018), es más importante mantener para el propio Río Nuevo los servicios ecosistémicos del sistema lagunar, debido a que proporciona el servicio de regulación del caudal del río aguas abajo. Por lo que será conveniente enfocar los esfuerzos de restauración en el sistema lagunar como parte del Río Nuevo.

1.6 Estructura de la tesis.

La presente investigación está dividida en siete apartados. El primero introduce al tema sobre la importancia de los humedales que forman el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre, los servicios ecosistémicos que prestan y el impacto que tiene el crecimiento de la ciudad sobre este sistema de humedales; así como las preguntas y los objetivos de la investigación.

En el segundo apartado se establece el marco teórico donde se identifican los conceptos principales a tratar en torno a los humedales, los servicios ecosistémicos, el paisaje y su planeación.

En el tercer apartado se hace una revisión sobre los antecedentes en torno a los servicios ecosistémicos y los estudios de paisaje en humedales.

En el cuarto apartado se aborda la metodología empleada, que está dividida en dos: el método RAWES para evaluar los servicios ecosistémicos que presta el sistema lagunar y una adaptación de la metodología empleada en la Comunitat Valenciana para los estudios de paisaje. La Comunitat Valenciana es pionera en España al poseer una Ley de Ordenación del territorio y Protección al paisaje, además de otros instrumentos de regulación, por lo que consideran al paisaje parte fundamental de la planeación urbana y territorial en donde los estudios de paisaje son instrumentos clave para establecer los lineamientos que les permitan identificar, valorar y posteriormente conservar los paisajes en cualquier escala territorial. Con lo que se garantiza que los usos y actividades desarrolladas en el territorio no deterioren los valores ambientales, paisajísticos o culturales del mismo. Asimismo, los estudios del paisaje permiten alinear los futuros desarrollos urbanos a la identidad del lugar; además de establecer criterios para zonificar suelo no urbanizable.

La utilización de ambas metodologías se han empleado anteriormente en humedales, pero no en humedales de zonas áridas y no de forma conjunta, ya que por una parte, se evalúan los servicios ecosistémicos presentes en el sistema lagunar y por otra, se establecen unidades que tienen no solo un valor escénico, sino cultural y ambiental para el territorio, donde en ambas metodologías se integra a la población mediante mecanismos de

participación que permiten a los ciudadanos identificarse con el territorio, conocerlo y posteriormente protegerlo.

En el quinto apartado se describen los resultados hallados en ambas metodologías por lo que está dividida en dos partes también: método RAWES y Estudio del paisaje, que son contrastados con otros resultados hallados en la literatura.

Por último, en el sexto apartado se establecen las conclusiones establecidas en ambas metodologías y los aportes de esta investigación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Sustentabilidad

Existe una sinonimia entre los conceptos de desarrollo sostenible y desarrollo sustentable que se han utilizado en diferentes medios desde publicaciones científicas, libros académicos, reportes de instituciones de gobierno, artículos de divulgación hasta sitios de internet y demás medios de comunicación. Sin embargo, existe un debate desde hace algunos años sobre si ambos conceptos pueden considerarse como sinónimos.

El inicio de la controversia entre ambos conceptos puede establecerse en 1987 cuando se define formalmente el término “*sustainable development*” en el Informe Brundtland; que establece al desarrollo sustentable como “*aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*” (Brundtland, 1987). Aunque la propuesta inicial del concepto era mantener un espacio para dirimir diferencias entre naciones y gobiernos acerca de lo que debía ser considerado como desarrollo sustentable, se fortaleció la idea tradicional de desarrollo, referido principalmente al crecimiento económico de los países en el largo plazo, donde el nivel de actividad económica aumenta constantemente (Rivera Hernández et al., 2017). Se considera que un país crece cuando su producción de bienes y servicios aumenta por un periodo de tiempo prolongado. Por lo tanto, el crecimiento económico se observa en la evolución del PBI (Producto Interno Bruto), por lo que el crecimiento económico es una condición necesaria, pero insuficiente para alcanzar el desarrollo de los países.

La polémica se mantuvo debido a la interpretación literal del vocablo en inglés “*sustainable*”. Sostenible proviene de “*sostenido*”, y significa que algo puede mantenerse por un tiempo determinado sin que colapse o se deteriore. Por otra parte, sustentable se origina del verbo “*sustentar*” que se refiere a un proceso independiente que no necesita de recursos externos para mantenerse (Zarta-Ávila, 2018).

En 1990 Nijkamp sintetiza el concepto de sustentabilidad donde visualiza la relación entre el crecimiento económico, la equidad social y la sustentabilidad ambiental para dar

lugar al desarrollo sustentable (Nijkamp et al., 1990). Pero es en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, conocida como la *Cumbre para la Tierra* en Río de Janeiro en 1992, que se anunció al desarrollo sostenible como una nueva meta alcanzable por todos los países, con el fin de superar la crisis ambiental global (Organización de las Naciones Unidas -ONU-, 1992). El concepto causó un gran debate entre los gobiernos sobre cómo garantizar la sostenibilidad del desarrollo. Por un lado, estaba la idea que para alcanzar el desarrollo sostenible se tenía que continuar con el crecimiento económico, entendido como un crecimiento constante y regular en el tiempo, sin altibajos y sin considerar el componente ecológico (Rivera Hernández et al., 2017). Por otro lado, estaba la concepción de que los problemas actuales requerían ver de otro modo las formas en que el hombre produce y consume, en la que vive y trabaja y por lo tanto, en la forma en que toma decisiones (Organización de las Naciones Unidas -ONU-, 1992). Es decir, se trataba de establecer un crecimiento económico que utilizara las mejores técnicas de producción y que generara a su vez, una mejor distribución de la riqueza y donde todos los habitantes de un país tuvieran las mismas oportunidades de progreso social.

Sumado a esta controversia Riechmann, (1995) menciona que los conceptos de desarrollo y desarrollo sostenible, más que términos relacionados se trata de conceptos antagónicos; debido a que para la conceptualización tradicional de desarrollo no puede tener cabida la idea de lo ecológico, por lo que sugiere que debe dejar de usarse este término si se desea avanzar hacia la construcción de una nueva noción de sustentabilidad.

Por su parte Gallopín, (2003) establece que hay una diferencia entre desarrollo sostenible y sostenibilidad, al mencionar que el concepto de desarrollo originalmente se trata de un cambio gradual y con cierta dirección; mientras que sostenibilidad indica mantener en el tiempo una situación existente de un estado o sistema.

Bajo esta perspectiva, sería conveniente afirmar que lo sustentable es una concepción integral que va mucho más allá de lo económico únicamente, que puede ser entendida como la producción de bienes y servicios, respetando los límites de la naturaleza como el proveedor de recursos finitos y valiosos que es, y que tiene en cuenta las generaciones presentes y futuras (Rivera Hernández et al., 2017). Es decir, se trata de conciliar los

aspectos económicos, sociales y ambientales de las actividades humanas (Larrouyet, 2015). Estos aspectos representan los componentes del desarrollo sustentable: desarrollo económico, desarrollo social y protección al medio ambiente, también conocidos como pilares del desarrollo sustentable que son interdependientes, pero que se refuerzan mutuamente, ya que al unirlos da como resultado las dimensiones de la sustentabilidad que son lo equitativo, lo soportable y lo viable (Figura 3) (Martinez-Castaño, 2013).

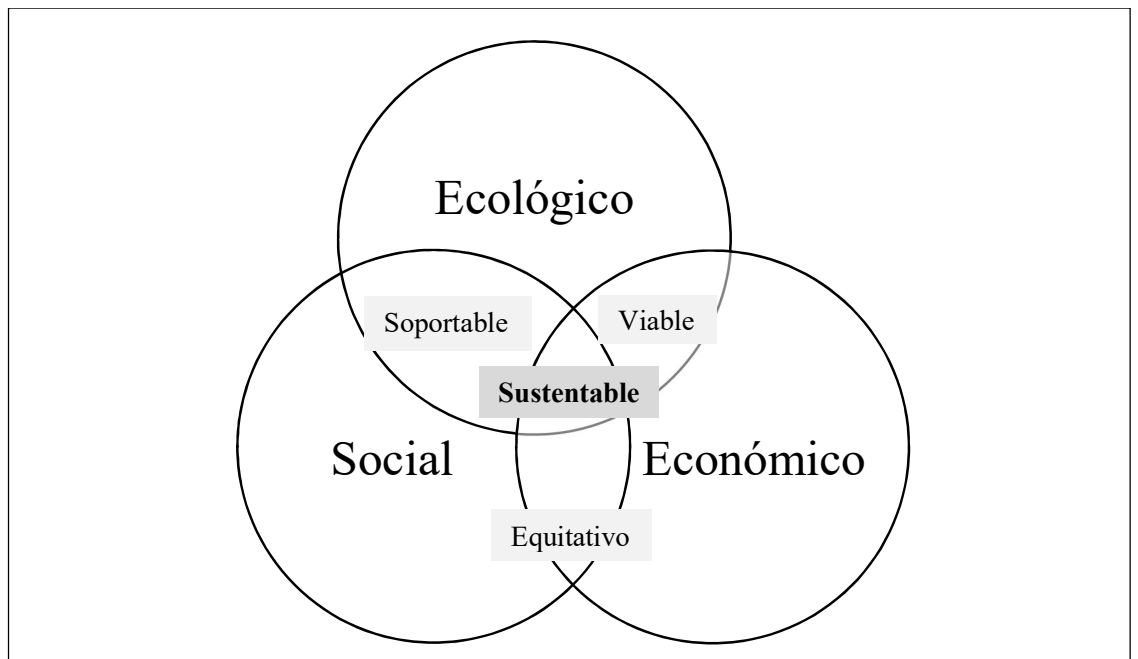


Figura 3. Pilares y dimensiones de la sustentabilidad. Modificado de Martinez-Castaño, (2013).

2.1.1 Objetivos del Desarrollo Sostenible

Posterior a la propuesta de Nijkamp sobre visualizar la sustentabilidad como un triángulo donde convergen el crecimiento económico, la equidad social y la sustentabilidad ambiental (Figura 4) (Nijkamp et al., 1990), en septiembre de 2000 se realizó la *Cumbre del Milenio*, para aprobar la Declaración del Milenio. La Declaración se tradujo posteriormente en un mapa de ruta que estableció los 8 Objetivos del Desarrollo del Milenio (ODM) que fueron: 1) erradicar la pobreza extrema y el hambre, 2) lograr la enseñanza primaria universal, 3) promover la igualdad entre los sexos y el empoderamiento de la mujer, 4) reducir la

mortalidad en niños menores a 5 años, 5) mejorar la salud materna, 6) combatir el VIH/SIDA la malaria y otras enfermedades, 7) garantizar la sostenibilidad del medio ambiente y 8) fomentar una alianza mundial para el desarrollo (CEPAL, 2000).

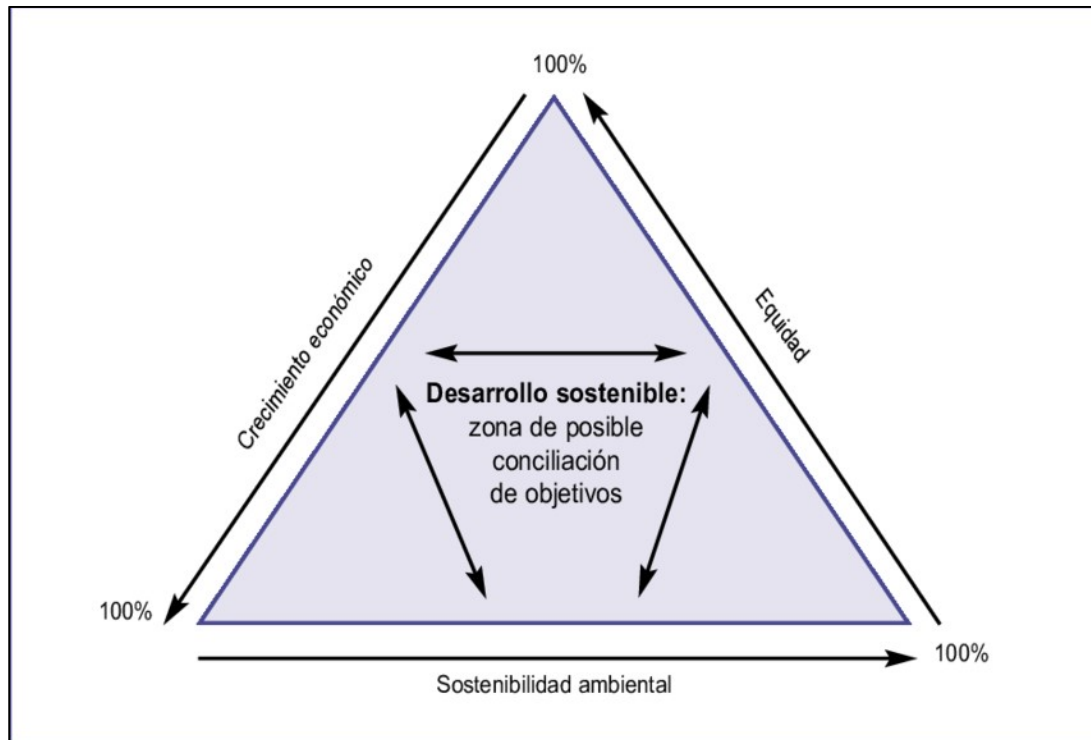


Figura 4. Triángulo del Desarrollo Sostenible de Kijkamp. Fuente: Nijkamp et al., (1990)

Posteriormente en 2015 se establecieron por las Naciones Unidas los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Globales, como un llamado universal a la acción con el fin de erradicar la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas disfruten de paz y prosperidad para el 2030. Son 17 objetivos que tienen un alcance más amplio de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) creados en 2000, al abordar las causas fundamentales de la pobreza y la necesidad universal de lograr un desarrollo a favor de todas las personas, los océanos, los ecosistemas, la energía, el cambio climático, el consumo y la producción sustentable, la paz y la justicia. La diferencia principal entre los ODS y los ODM es que los primeros son de aplicación

universal, mientras que los ODM solo estaban destinados para los países desarrollados (PNUD, 2000).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son: 1) fin de la pobreza, 2) hambre cero, 3) salud y bienestar, 4) educación de calidad, 5) igualdad de género, 6) agua limpia y saneamiento, 7) energía asequible y no contaminante, 8) trabajo decente y crecimiento económico, 9) industria, innovación e infraestructuras, 10) reducción de las desigualdades, 11) ciudades y comunidades sostenibles, 12) producción y consumo responsables, 13) acción por el clima, 14) vida submarina, 15) vida de ecosistemas terrestres, 16) paz, justicia e instituciones sólidas y 17) alianzas para lograr los objetivos (ONU, 2022).

Los ODS abarcan las tres dimensiones del desarrollo sostenible: el crecimiento económico, la inclusión social y la protección del medio ambiente; además que trabajan en conjunto, es decir, que la acción en uno de los objetivos afectará el resultado de otros. Aunque actualmente, el ODS de la lucha contra el cambio climático y sus efectos, es una tarea imperativa si se desea lograr el desarrollo sustentable (PNUD, 2000).

Bajo esta perspectiva, son los humedales los ecosistemas que presentan las mayores herramientas para luchar contra el cambio climático. Sin embargo, no solo ayudan a cumplir con el ODS 13. Acción por el clima que es el más obvio, sino con varios de los ODS. Entre los más significativos están: ODS 3. Salud y bienestar, ODS 11. Ciudades y comunidades sustentables y ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres (Andrade & Vilardy, 2020). No obstante, Gardner y Finlayson, (2018) en el informe de la Comisión Ramsar sobre la Perspectiva Mundial sobre los humedales, afirman que los humedales están vinculados al resto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible debido a que la historia del hombre se consolidó cerca de los humedales y en ellos se entretienen relaciones muy fuertes entre actividades ambientales, económicas, sociales y culturales (Figura 5).



Figura 5. Relación entre los humedales y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Modificado de Gardner & Finlayson, (2018).

2.2 Humedales.

En el Inventario Nacional de Humedales de los Estados Unidos se define a los humedales como “tierras de transición entre el medio terrestre y acuático, donde la capa freática suele estar usualmente en la superficie o cerca de ella y la tierra está cubierta por aguas poco profundas”. Además, los humedales deben tener uno o más de los siguientes atributos: 1) la tierra mantiene de forma preferente, al menos de forma periódica, plantas hidrófilas; 2) el suelo es principalmente suelo hídrico sin drenaje, considerando un suelo hídrico aquel que se formó bajo condiciones de saturación, inundaciones, o encharcamiento durante el tiempo suficiente durante la temporada de cultivo para permitir que se produzcan condiciones anaeróbicas en la parte superior del perfil del suelo; y 3) el suelo está saturado con agua, o se mantiene cubierto por ella en algún momento durante la temporada de crecimiento, definida como la época del año donde la temperatura del suelo a una profundidad de 50cm, permite el crecimiento y funcionamiento de las plantas que ahí se desarrollan (Berlanga-Robles et al., 2008; Tiner, 1997).

La Convención Ramsar define a los humedales de manera más general al considerarlos como “una extensión de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros” (S. de la C. de Ramsar, 2014).

Según el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales (CONAGUA, 2014) los humedales se definen como “zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas como pantanos, ciénegas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional, las áreas en donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos por la descarga natural de acuíferos”.

Debido a que en todas las definiciones se mencionan distintas particularidades que especifican lo que es un humedal, es necesario definir primeramente las características ecológicas que los caracterizan, y son “aquellas producto de la combinación de los

componentes, los procesos y los beneficios o servicios que provee el ecosistema y que permiten caracterizar al humedal en un determinado momento” (Gardner & Finlayson, 2018).

Los humedales son ecosistemas que están distribuidos en todo el mundo y en todos los ambientes, por lo que se hace necesario clasificarlos para poder describirlos, identificarlos y finalmente evaluarlos con el objetivo final de conservarlos (Figura 6).

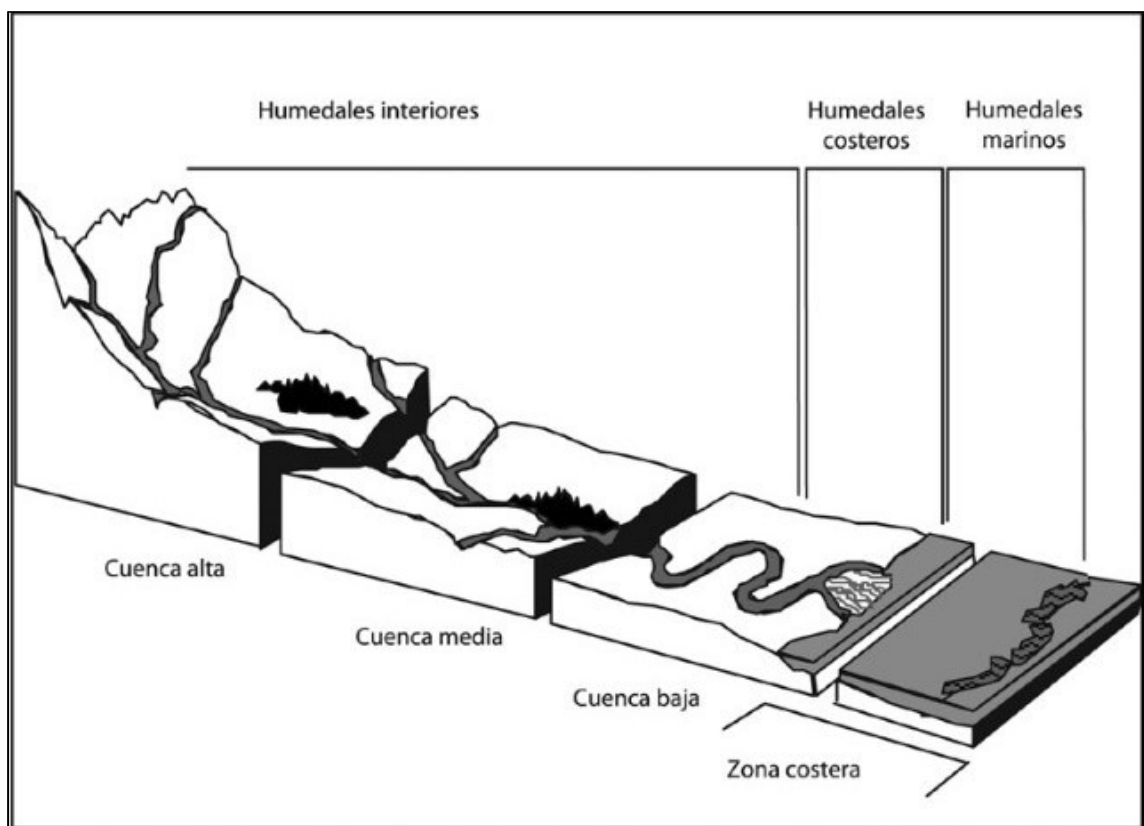


Figura 6. Tipos de humedales que pueden hallarse en una cuenca. Fuente: (Cervantes, 2007).

2.2.1 Clasificación de los humedales.

La clasificación más usada para catalogar a los humedales es la creada por la Convención Ramsar en 1990, que ha tenido modificaciones a través de los años, donde los humedales son clasificados en tres grupos principales: 1) marinos-costeros, 2) interiores y 3) artificiales. Dentro de los cuales, con base en la permanencia y las propiedades del agua, tipo de suelo,

sustrato y vegetación, se identificaron originalmente 35 clases. Aunque actualmente existen 42 clases ya que se incluyeron nuevos tipos (Berlanga-Robles et al., 2008) (Tabla 1).

La clasificación fue diseñada originalmente como una herramienta para describir sitios Ramsar, pero actualmente se utiliza para identificar y localizar fácilmente los principales humedales, así como realizar evaluaciones y comparaciones con otros inventarios de humedales a nivel mundial (Berlanga-Robles et al., 2008).

La clasificación usada por la Convención Ramsar es la siguiente (Tabla 1):

Tabla 1. Clasificación y tipos de humedales según la Convención Ramsar.

Humedales marinos y costeros	
A	Aguas marinas someras permanentes. En la mayoría de los casos de menos de 6m de profundidad en marea baja; se incluyen bahías y estrechos.
B	Lechos marinos submareales. Se incluyen praderas de algas, praderas de pastos marinos, praderas marinas mixtas tropicales.
C	Arrecifes de coral.
D	Costas marinas rocosas. Incluye islotes rocosos y acantilados.
E	Playas de arena o de guijarros. Incluye barreras, bancos, cordones, puntas e islotes de arena; incluye sistemas y hondonales de dunas.
F	Estuarios. Aguas permanentes de estuarios y sistemas estuarinos de deltas.
G	Bajos intermareales de lodo, arena o con suelos salinos (“saladillos”).
H	Pantanos y esteros (zonas inundadas) intermareales. Incluye marismas y zonas inundadas con agua salada, praderas halófilas, salitrales, zonas elevadas inundadas con agua salada, zonas de agua dulce y salobre inundadas por la marea.
I	Humedales intermareales arbolados. Incluye manglares, pantanos de “nipa”, bosques inundados o inundables mareales de agua dulce.
J	Lagunas costeras salobres/saladas. Lagunas de agua entre salobre y salada con por lo menos una relativamente angosta conexión al mar.
K	Lagunas costeras de agua dulce. Incluye lagunas deltaicas de agua dulce.
Zk(a)	Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos, marinos y costeros.
Humedales continentales	
L	Deltas interiores (permanentes).
M	Ríos/arroyos permanentes. Incluye cascadas y cataratas.
N	Ríos/arroyos estacionales/intermitentes/irregulares.
O	Lagos permanentes de agua dulce (de más de 8 ha). Incluye grandes madre viejas (meandros o brazos muertos de río).
P	Lagos estacionales/intermitentes de agua dulce (de más de 8 ha); incluye lagos en llanuras de inundación.
Q	Lagos permanentes salinos/salobres/alcalinos.
R	Lagos y zonas inundadas estacionales/intermitentes salinos/salobres/alcalinos.
Sp	Pantanos/esteros/charcas permanentes salinas/salobres/alcalinos.

Ss	Pantanos/esteros/charcas estacionales/intermitentes salinos/salobres/alcalinos.
Tp	Pantanos/esteros/charcas permanentes de agua dulce; charcas (de menos de 8 ha), pantanos y esteros sobre suelos inorgánicos, con vegetación emergente en agua por lo menos durante la mayor parte del período de crecimiento.
Ts	Pantanos/esteros/charcas estacionales/intermitentes de agua dulce sobre suelos inorgánicos. Incluye depresiones inundadas (lagunas de carga y recarga), “potholes”, praderas inundadas estacionalmente, pantanos de ciperáceas.
U	Turberas no arboladas. Incluye turberas arbustivas o abiertas (“bog”), turberas de gramíneas o carrizo (“fen”), bofedales, turberas bajas.
Va	Humedales alpinos/de montaña. Incluye praderas alpinas y de montaña, aguas estacionales originadas por el deshielo.
Vt	Humedales de la tundra. Incluye charcas y aguas estacionales originadas por el deshielo.
W	Pantanos con vegetación arbustiva. Incluye pantanos y esteros de agua dulce dominados por vegetación arbustiva, turberas arbustivas (“carr”), arbustales de <i>Alnus sp</i> ; sobre suelos inorgánicos.
Xf	Humedales boscosos de agua dulce. Incluye bosques pantanosos de agua dulce, bosques inundados estacionalmente, pantanos arbolados; sobre suelos inorgánicos.
Xp	Turberas arboladas; bosques inundados turbosos.
Y	Manantiales de agua dulce, oasis.
Zg	Humedales geotérmicos.
Zk(b)	Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos, continentales.
Humedales artificiales	
1	Estanques de acuicultura (por ej. estanques de peces y camaronerías).
2	Estanques artificiales. Incluye estanques de granjas, estanques pequeños (generalmente de menos de 8 ha).
3	Tierras de regadío. Incluye canales de regadío y arrozales.
4	Tierras agrícolas inundadas estacionalmente. Incluye praderas y pasturas inundadas utilizadas de manera intensiva.
5	Zonas de explotación de sal. Salinas artificiales, salineras, etc.
6	Áreas de almacenamiento de agua. Reservorios, diques, represas hidroeléctricas, estanques artificiales (generalmente de más de 8 ha).
7	Excavaciones. Canteras de arena y grava, piletas de residuos mineros.
8	Áreas de tratamiento de aguas servidas. “Sewage farms”, piletas de sedimentación, piletas de oxidación.
9	Canales de transportación y de drenaje, zanjas.
Zk(c)	Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos, artificiales.

Fuente: (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013).

Los humedales representan ecosistemas estratégicos y de gran importancia para la conservación de la biodiversidad y el bienestar de las comunidades humanas, ya que son hábitats altamente productivos al ser albergue de una gran diversidad biológica; además de representar las mayores fuentes de agua, nutrientes y alimento de las que no sólo depende el hombre y sus comunidades, sino también incontables especies tanto vegetales como animales (De Groot et al., 2007; *La Convención de Ramsar*, 2014).

Además de ser hábitat de aves acuáticas y de una gran diversidad de especies de flora y fauna, muchas de ellas amenazadas o en peligro de extinción, los humedales sirven como fuentes importantes de abastecimiento de agua de calidad, participan en la recarga de los mantos acuíferos, purifican el agua; al mismo tiempo que sirven como barreras protectoras contra inundaciones y tormentas, participan en la regulación de la temperatura y la humedad ambientales, controlan la erosión, y desempeñan un papel importante en la economía regional a través de actividades como la pesca y el turismo (Barbier, 2011; CONANP, 2012; Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005).

Todas estas funciones que los humedales suministran al medio ambiente y al hombre son los servicios ecosistémicos.

2.3 Servicios ecosistémicos.

Existe una controversia entre la comunidad científica sobre la forma de aplicar el concepto de servicios ecosistémicos y servicios ambientales. La razón de ello es primordialmente el uso del concepto en un contexto determinado. El término “servicios ambientales” se usa principalmente dentro del medio político, mientras que “servicios ecosistémicos” se usa más en el contexto de la academia (Balvanera, 2007).

El concepto de servicios proporcionados por los ecosistemas tiene su origen en el movimiento ambientalista de las décadas de 1960 y 1970, como consecuencia de los efectos negativos de la contaminación, la deforestación, la sobrepesca y sobre todo, la reducción en la capa de ozono. Es en 1977 cuando Westman define por primera vez los servicios ecosistémicos solamente como “servicios de la naturaleza” (Camacho-Valdez & Ruiz-Luna, 2012; Costanza et al., 1997). Aunque el concepto de los servicios ecosistémicos propuesta por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM) es la más usada, numerosos autores afirman que el concepto es cambiante dependiendo del contexto en el que se use, por lo que es de esperarse que el término evolucione (Silva et al., 2016). Lo anterior se comprueba con las distintas conceptualizaciones que han surgido a través del tiempo.

Daily en 1997 definió a los servicios ecosistémicos como “las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies que los habitan, sustentan y satisfacen la vida humana” (Camacho-Valdez & Ruiz-Luna, 2012). En ese mismo año, surgió el concepto más conocido de Costanza y colaboradores (1997) que dividen los beneficios que obtiene la población humana de los ecosistemas, ya sea de forma directa o indirecta a partir de las funciones de los ecosistemas como “bienes” y “servicios”. Entre estas dos últimas definiciones se aprecian diferencias importantes, ya que mientras el concepto de servicios ecosistémicos de Daily se enfoca en las propiedades del ecosistema cuyas relaciones son el soporte de la vida humana, el concepto de Costanza y colaboradores se enfoca en lo que el hombre obtiene como beneficio de los ecosistemas (Camacho-Valdez & Ruiz-Luna, 2012).

Posteriormente, De Groot y colaboradores establecen como parte de la definición de servicios ecosistémicos las funciones del propio ecosistema para proporcionar los bienes y

servicios que satisfagan las necesidades del hombre (De Groot et al., 2007). Con lo cual sobresale la idea antropocéntrica del concepto.

Más adelante, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM) definió a los servicios como “los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas” (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005). No obstante de ser la definición más usada, no es útil para poder diferenciar entre los procesos del propio ecosistema y los beneficios que producen para la humanidad.

Por todo lo anterior, es necesario que se tenga un conocimiento claro de la estructura y de los procesos que permiten el correcto funcionamiento de los ecosistemas, ya que así se asegurará la prestación de los servicios. Por lo que se debe empezar por clarificar el contexto en que se usará el término, para posteriormente establecer una clasificación acorde y finalmente una evaluación adecuada de los servicios ecosistémicos (Camacho-Valdez & Ruiz-Luna, 2012).

2.3.1 Clasificación de los servicios ecosistémicos

Al igual que con la definición de los servicios ecosistémicos, existen diversas clasificaciones de los servicios propuestas a lo largo de los años. Sin embargo, para que una clasificación funcione adecuadamente debe contar con un propósito definido, fronteras o límites claros, que puedan cuantificarse en la mayoría de los casos y que estén basados en criterios objetivos. También debe contar con clases o categorías naturales que sean independientes de la escala, con el fin de realizar comparaciones entre distintos niveles. Asimismo, no deben existir ambigüedades y debe seguir una jerarquía sólida (Berlanga-Robles et al., 2008).

La primera clasificación de los servicios ecosistémicos la propuso Costanza et al., (1997) enlistando los servicios y bienes en 17 tipos asociados a las funciones de los ecosistemas que producen o generan el servicio. Posteriormente, De Groot y colaboradores en (2002) presentaron una clasificación basada en una tipología clara cuyo objetivo era usarla para analizar las funciones y los servicios de los ecosistemas. En ella se enfatizan las funciones del ecosistema que están relacionadas con los procesos y los componentes

naturales que proporcionan los bienes y servicios. Por lo que la clasificación está hecha con base en 23 funciones básicas agrupadas en cuatro categorías principales, de las cuales emanan los bienes y servicios (De Groot et al., 2007) (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de los servicios ecosistémicos.

Funciones	Características	Bienes y servicios
De regulación	Capacidad de los ecosistemas para regular procesos ecológicos esenciales y sostener sistemas vitales a través de ciclos biogeoquímicos y otros procesos biológicos.	-Aire limpio -Depuración del agua -Prevención de inundaciones -Mantenimiento de tierra cultivable
De hábitat	Proporcionar hábitat, refugio y sitios de reproducción para plantas y animales contribuyendo a la conservación biológica y diversidad genética.	-Mantenimiento de la diversidad genética y biológica -Mantenimiento de especies aprovechables
De producción	Fotosíntesis y procesos autótrofos en general que son sustento de consumidores de distinto nivel trófico, para generar una mayor variedad de biomasa.	-Alimento -Materias primas -Recursos botánicos -Recursos energéticos -Medicinas
De información	Mantenimiento de la salud humana proporcionando oportunidades de enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, recreación y experiencias estéticas.	-Turismo -Religión -Cosmovisión pueblos antiguos -Paisajes

Modificado de De Groot et al., (2007).

Posteriormente, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM) estableció su clasificación, que es la más empleada actualmente, y cataloga a los servicios ecosistémicos en cuatro categorías principales: 1) servicios de soporte, 2) de regulación, 3) de aprovisionamiento o suministro y 4) culturales (Tabla 3). Se basa principalmente en el concepto usado por EM de “servicios ecosistémicos”, cuya meta es establecer bases firmes para la conservación de la biodiversidad, así como asegurar el abastecimiento de los servicios que prestan los ecosistemas (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005) (Figura 7).

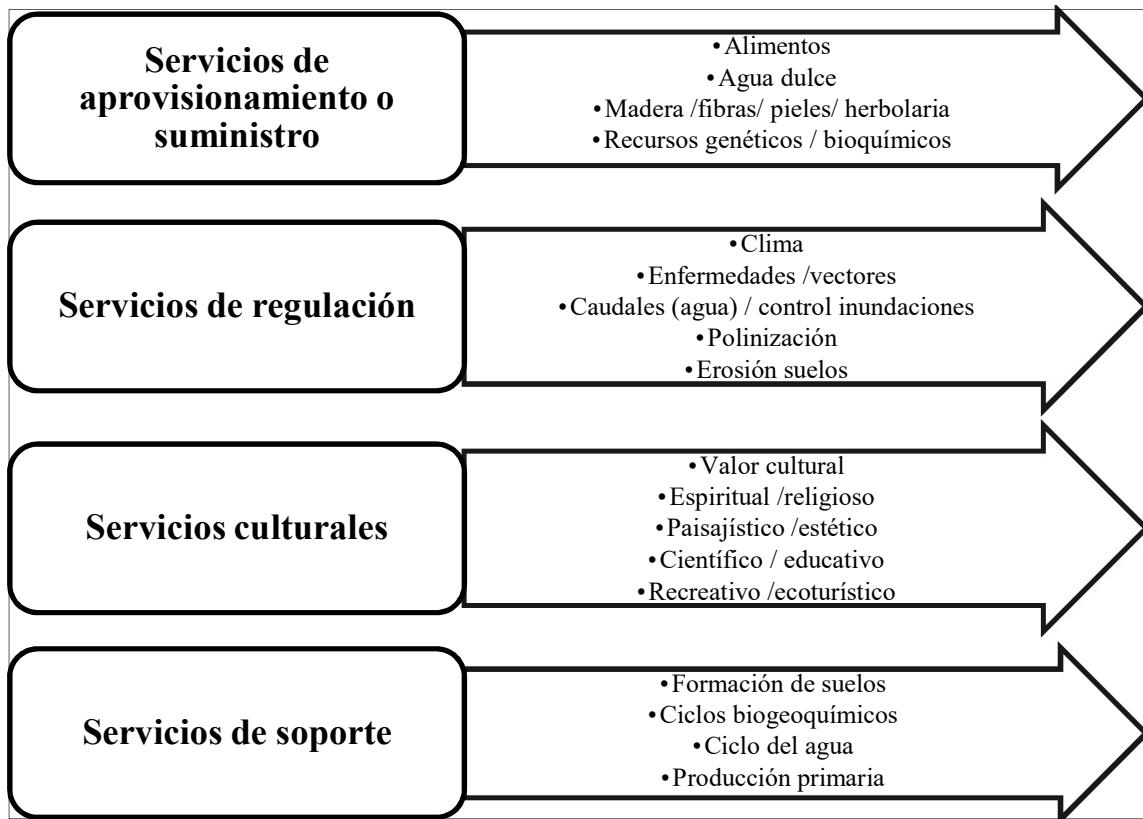


Figura 7. Clasificación servicios ecosistémicos. Modificado de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, (2005).

Los servicios de soporte se refieren a todos los procesos ecológicos que aseguran el funcionamiento adecuado de los ecosistemas y el flujo de los otros servicios. Los beneficios son indirectos y se dan después de periodos muy largos de tiempo. Entre estos servicios se encuentran la productividad primaria, el ciclo del agua, la formación de suelos, los ciclos biogeoquímicos y el mantenimiento de la biodiversidad (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005). Mientras que los servicios de suministro proporcionan el soporte básico para la vida humana debido a que generan recursos materiales, productos y bienes. En esta categoría se incluyen alimentos, combustibles, recursos genéticos, herbolaria y compuestos medicinales, madera y material para construcción, fibras, pieles y recursos ornamentales (Tabla 3) (Ramsar, 2015a).

Por otra parte, los servicios de regulación son los que se obtienen de los procesos ecológicos que regulan el estado de la biósfera. Son igualmente fundamentales para el bienestar humano, aunque son más difíciles de reconocer. En esta categoría se incluyen regulación del clima, regulación de caudales, polinización y control de plagas y vectores, regulación de la erosión del suelo, calidad del aire, calidad del agua, control de enfermedades y control de riesgos naturales (Balvanera et al., 2012). Por último, los servicios culturales son los beneficios inmateriales e intangibles que derivan de los ecosistemas que dependen de las percepciones del hombre acerca de los ecosistemas y de sus componentes. En esta categoría se encuentran los beneficios espirituales o religiosos, recreativos, culturales, educativos, científicos, estéticos y paisajísticos que brindan los ecosistemas (Tabla 3) (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005).

Tabla 3. Categorías de la clasificación de los servicios ecosistémicos.

Categoría	Descripción
Servicios de soporte	Forman la base para la producción de los otros tipos de servicios. Los beneficios son indirectos y después de periodos muy largos
Servicios de suministro	Son los que generan recursos materiales, productos y bienes
Servicios de regulación	Son los que se obtienen de los procesos ecológicos que regulan el estado de la biósfera
Servicios culturales	Son los beneficios no materiales e intangibles que derivan de los ecosistemas

Modificado de: Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, (2005).

Sin embargo, en esta clasificación propuesta por los Ecosistemas del Milenio (EM) es confuso diferenciar los servicios clasificados como de regulación de los de soporte (Camacho-Valdez & Ruiz-Luna, 2012); además según lo menciona (Balvanera & Cotler, 2009), esta clasificación está centrada primordialmente en los bienes y servicios que obtiene la humanidad de los ecosistemas más que en las funciones que dan origen a esos bienes.

A pesar de ser las clasificaciones más usadas, no por ello están libres de confusiones en su aplicación, ya que como lo menciona Wallace, (2007) estas clasificaciones unen los procesos que dan origen a los servicios ecosistémicos con los propios servicios en la misma

categoría de clasificación. Asimismo, existen ambigüedades tanto en las definiciones como en los procesos del ecosistema.

Por lo que Wallace, (2007) propuso otro sistema de clasificación donde los servicios son establecidos con base en la estructura y composición de un elemento en específico del ecosistema (bien) y los servicios obtenidos son clasificados en concordancia a los valores humanos a los que mantienen. Es decir, propone que los beneficios son producto de los procesos de los ecosistemas. Por lo que se tienen cuatro categorías de valores humanos (Tabla 4).

Tabla 4. Clasificación de servicios ecosistémicos.

Categoría de valor humano	Servicios ecosistémicos experimentados a nivel individual	Ejemplos de procesos que deben gestionarse para prestar servicios ecosistémicos
Recursos suficientes	-Alimento -Oxígeno -Agua potable -Energía -Auxiliares de dispersión (trasporte)	<i>Procesos del ecosistema</i> -Regulación biológica -Regulación climática -Gestión de la belleza paisajística -Manejo del suelo para recreación
Protección contra enfermedades / depredadores / parásitos	-Protección contra depredación -Protección contra enfermedades / parásitos	-Regulación de nutrientes -Polinización -Producción de materiales (pieles, fibras, maderas)
Ambiente físico y químico propicio	-Temperatura -Humedad -Luz -Químicos	-Producción de medicinas -Producción de suelos /agua -Regulación de agua
Realización socio-cultural	-Satisfacción espiritual / filosófica -Grupos sociales -Placer /recreación -Hobbies -Estética -Valores de oportunidad (conocimiento /educación /recursos genéticos)	<i>Elementos bióticos y abióticos</i> Los procesos se gestionan para proporcionar una composición y estructura particular de los elementos del ecosistema. -Biodiversidad -Suelo -agua -Aire -Energía

Modificado de Wallace, (2007).

Turner y colaboradores (2008) en (Camacho-Valdez & Ruiz-Luna, 2012), establecieron una nueva clasificación de los servicios ecosistémicos, donde dividen a los servicios ecosistémicos como servicios intermedios y finales, mientras que los beneficios que obtiene el hombre pueden provenir de cualquiera de éstos servicios. Es decir, consideran que los procesos y las funciones de los ecosistemas pueden ser ya sea servicios intermedios y/o finales, todo depende de la relación que tengan con el beneficio (Figura 8).

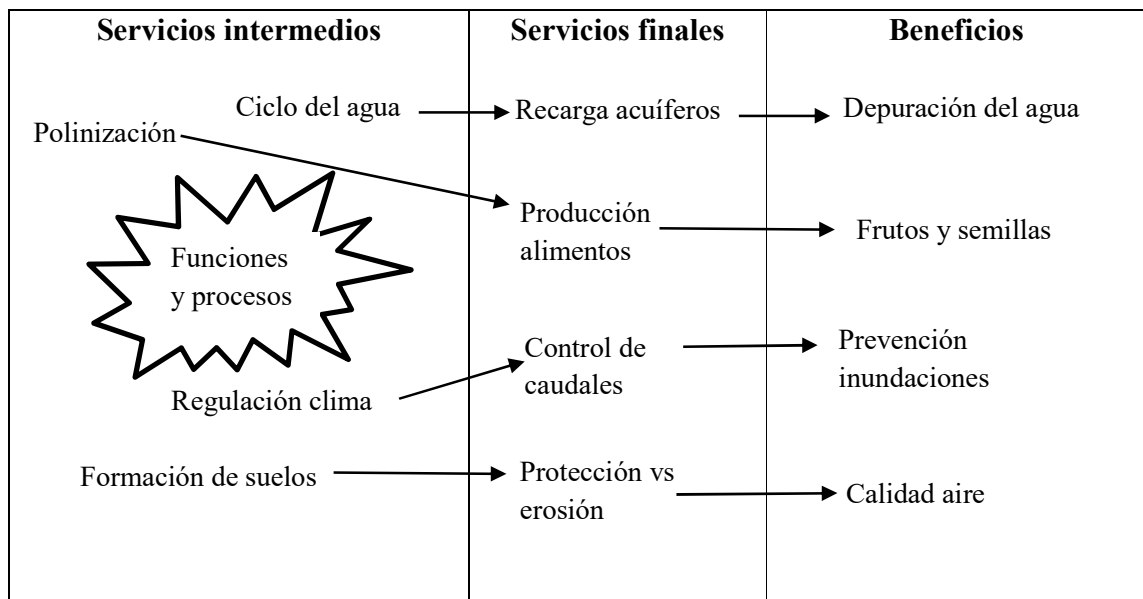


Figura 8. Relación entre los servicios ecosistémicos intermedios, finales y sus beneficios. Modificado de Camacho-Valdez & Ruiz-Luna, (2012).

Este esquema de clasificación propuesto por Turner y colaboradores hace énfasis en la complejidad de los ecosistemas, por lo que la comprensión de los procesos y las funciones podrá conducir a definir más claramente los beneficios que producen los ecosistemas.

Por todo lo anterior es conveniente afirmar que los servicios ecosistémicos benefician al hombre en múltiples niveles sin importar si éste usa o valora actualmente ese servicio; y que la oferta de los servicios ecosistémicos es la contribución potencial que tiene un ecosistema en beneficio del hombre y su valor refleja, desafortunadamente, la medida de las preferencias de las personas por los diferentes servicios. Los valores pueden expresarse de forma cualitativa ya sea en forma de creencia -las especies que habitan los ecosistemas tienen derechos-; como asignación importante -la importancia de los manglares para

disminuir los daños por huracanes-; o como preferencia -apoyo al ecoturismo- (De Groot et al., 2007; Gardner & Finlayson, 2018). Este valor puede ser económico, que es el valor más común, o intangible como un valor paisajístico o cultural (Constanza et al 1997).

Por lo que para la Convención Ramsar los servicios ecosistémicos son un componente principal en la conceptualización de las características ecológicas que forman un humedal (Gardner & Finlayson, 2018.) (Tabla 5). De Groot y colaboradores (2007) estimaron el valor económico total promedio de los servicios ecosistémicos en dólares por hectárea por año (VET \$/ha/año), producidos por distintos tipos de humedales, y mostraron que superaban los valores por mucho de los ecosistemas terrestres.

A pesar de la importancia económica, ecológica y cultural de estos ecosistemas, se ha documentado que los humedales son los que mayormente sufren las intervenciones humanas, debido al alto grado de complejidad biológica que poseen, lo que los hace vulnerables al cambio. Estas intervenciones se consideran realmente amenazas antropogénicas directas, definidas por (Guerra-Vargas & Mancera-Pineda, 2015) como “aquellos factores o presiones de origen humano que pueden causar daño a la calidad y disponibilidad de los servicios ecosistémicos”. Entre estas actividades están la agricultura, la acuicultura, las producciones pecuarias, el uso indiscriminado de los recursos biológicos, la introducción de especies exóticas y/o invasivas, pero sobre todo, la urbanización, donde es más evidente el cambio en el uso de suelo. Además, los humedales desempeñan un papel significativo en la prestación de servicios ecosistémicos que otros ecosistemas (Gardner & Finlayson, 2018).

Tabla 5. Servicios ecosistémicos clasificados por tipo de humedal y por tipo de aportación al abastecimiento de los servicios.

Tipos de humedales /servicios	Humedales continentales					Humedales costeros/ marinos						Humedales artificiales						
	Río/ arroyo	Lago	Turbera	Marisma /pantano	Subterráneo	Marisma salada	Manglar	Pastos marinos	Arrecife de coral	Arrecifes de bivalvos	Laguna costera	Alga marina	Embalse	Arrozal	Pasto húmedo	Estanques de residuos	Salinas	Estanques de agua
Servicios de abastecimiento																		
Alimentos	H	H	H	H	NA	H	H	M	M	M	M	L	M	H	H	L	H	H
Agua dulce	H	H	L	M	H	L	NA	NA	NA	NA	L	NA	M	NA	NA	L	NA	NA
Fibra y combustible	M	M	H	H	NA	L	H	NA	NA	NA	M	NA	L	NA	NA	L	NA	L
Productos bioquímicos	L	?	?	L	?	L	L	?	L	?	?	L	?	NA	?	?	L	?
Materiales genéticos	L	L	?	?	?	L	L	?	L	?	?	?	L	L	?	?	L	L
Servicios de regulación																		
Clima	L	H	H	H	L	H	H	H	M	L	L	NA	M	L	L	NA	L	NA
Hidrológico	H	H	M	M	L	M	H	NA	NA	NA	M	NA	H	M	L	NA	NA	NA
Control de la contaminación	H	M	M	H	M	H	H	L	L	NA	M	?	L	L	L	H	NA	NA
Protección contra la erosión	M	M	M	M	H	M	H	L	M	M	L	L	L	M	M	L	M	NA
Riesgos naturales	M	H	M	H	NA	H	H	M	H	M	M	L	L	L	L	NA	M	NA
Servicios culturales																		
Espiritual y religioso	M	H	M	M	L	?	L	?	H	NA	M	NA	M	L	L	NA	M	NA
Recreativo	H	H	L	M	L	?	?	?	H	NA	M	L	H	L	L	NA	L	NA
Estético	M	M	L	M	L	M	M	NA	H	NA	M	NA	H	M	M	NA	M	NA
Educativo/ investigación	H	H	M	M	L	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	M	L
Servicios de soporte																		
Biodiversidad	H	H	H	H	H	M	M	L	H	M	M	L	M	M	M	L	M	L
Formación del suelo	H	L	H	H	NA	M	M	NA	NA	NA	NA	NA	L	M	L	L	L	NA
Ciclo de nutrientes	H	L	H	H	L	M	M	L	M	NA	M	L	L	M	L	H	L	L
Polinización	L	L	L	L	NA	L	M	M	NA	NA	?	?	L	L	M	L	L	NA

Donde: H = Aportación Alta; M = Aportación Media; B = Aportación Baja; NA = No aplica; ? = No hay datos. Modificado de Gardner & Finlayson, (2018).

Asimismo, dos de los compromisos asumidos por los países que pertenecen a la Convención Ramsar es por una parte, mantener las características ecológicas de todos los humedales con los que cuentan en sus territorios; y por otro lado informar a la secretaría de la Convención sobre cualquier cambio antropogénico desfavorable realizado en un humedal establecido como sitio Ramsar, así como las medidas tomadas para restaurar dichos humedales (De Groot et al., 2007).

2.4 Ecosistema natural.

Eugene P. Odum en 1953 definió el concepto de ecosistema como *“cualquier unidad que incluya todos los organismos en un área dada interactuando con el ambiente físico, de forma que el flujo de energía lleva a definir estructuras tróficas, diversidad biótica y ciclos de materiales”* (E. P. Odum, 1972). Se puede entonces afirmar que el ecosistema es la unidad funcional básica que incluye organismos y medio ambiente, cada uno de los cuales influye sobre las propiedades del otro. Por lo que el concepto de ecosistema, como bien lo definió Odum *“debe ir más allá de la funcionalidad en el pensamiento ecológico, ya que tiene que subrayar las relaciones forzosas, la independencia y las relaciones causales o de acoplamiento de componentes para formar unidades funcionales”* (Odum, 1991). Es decir, las partes son inseparables desde el punto de vista funcional por lo que el ecosistema es el nivel de organización biológica más apropiado para la aplicación de los conocimientos de las diversas disciplinas que utilizan el concepto de ecosistema en sus teorías.

Más adelante (Margalef, 1976) amplió el concepto de ecosistema al aplicar la teoría de la información a la Ecología, con lo que creó modelos matemáticos para estudiar a las poblaciones. Es decir, trató de cuantificar la información contenida en un sistema. La teoría de la información establece que pueden evaluarse los diferentes tipos de sistemas mediante el cálculo de la cantidad de información que ofrecen. Así la información, calculada por individuo, será cada vez mayor en: 1) número de especies en la comunidad; 2) número de ejemplares de cada especie; 3) ubicación de cada especie; 4) identificación individual y ubicación de todos los individuos. Sin embargo, la información es un concepto que no es fácil medir. Los límites de la información total disponible son difíciles de estimar, ya que la información está distribuida en diferentes estratos jerarquizados (Vargas-Abarzúa & Zúñiga-Molinier, 2010; Walker, 2005).

Así, según Margalef (1976) el establecimiento de los límites de un estudio y el sistema no se traduce en una pérdida de información, pero puede limitar el rendimiento. Además, concluyó que la cantidad de información de una comunidad es aproximadamente igual a su diversidad. Compiló varias teorías que circulan de forma más o menos independientes en el campo de la Ecología, con lo que se define más claramente la estructura

de un ecosistema como un todo incluyendo los componentes del sistema (materia) y las interacciones entre estos componentes (la energía).

Para entender las interacciones de los componentes dentro del ecosistema es necesario establecer primero el concepto de energía que se define como “*la capacidad para producir un trabajo*”. Está concebida bajo las Leyes de la Termodinámica que mencionan lo siguiente: 1ª Ley: la energía no se crea ni se destruye sólo se transforma (Principio de Conservación). 2ª Ley: ningún procedimiento que implique transformación de energía se producirá espontáneamente, a menos que ocurra una degradación de la energía de una forma concentrada a una forma dispersa. Es decir, en todo sistema existe pérdida de energía, a esto se le conoce como Principio de la estabilidad del sistema. Nicolis y Prigogine (1977) en (Beltramino, 2006) centraron sus estudios en los sistemas termodinámicamente abiertos que intercambian materia y energía con el mundo exterior, de manera que adquieren y mantienen estructuras. Razonaron que el término general de la entropía puede dividirse en dos partes. La primera refleja los intercambios entre el sistema y el mundo exterior y la segunda describe qué cantidad de entropía se produce dentro del mismo sistema. La segunda ley de la termodinámica exige que la suma de estas dos partes sea positiva, excepto en el estado de equilibrio. Esto significa que, sin violar la segunda ley, los sistemas muy alejados del equilibrio pueden experimentar una disminución de la entropía local. Para los sistemas, esta disminución se manifiesta con un aumento de organización interna. Para destacar la conexión entre los procesos auto-organizativos y la gran producción de entropía, Nicolis y Prigogine (1977) llaman a tales relaciones sistemas "disipativos". Con el fin de remarcar la aparición espontánea de la estructura organizada.

Margalef en 1982 utilizó los trabajos de Nicolis y Prigogine para modelar matemáticamente dentro de los ecosistemas la aplicación de la 2ª Ley de la Termodinámica desde el punto de vista de la entropía que se define como “*la cantidad de energía no disponible en un sistema*” (desorden). La entropía por lo tanto sirve para medir el grado de desorden dentro de un sistema y permite distinguir la energía útil que es la que se convierte en trabajo, de la energía inútil que se pierde en el medio ambiente (Walker, 2005).

Posteriormente Odum, (1991) ahondó en este principio de la entropía y la 2ª Ley de la Termodinámica aplicada por Margalef al afirmar que “*un ecosistema es un sistema*

termodinámicamente abierto y lejos del equilibrio"; y en adición a las dos leyes de la termodinámica, el mismo Odum incluye otros tres conceptos a la teoría de sistemas aplicados a la ecología: "todo en la Tierra opera en ciclos", "todas las formas de vida involucran la selección natural" y "toda la vida está conectada" Por lo que estableció una definición de ecosistema más amplia: "*las poblaciones son componentes del ecosistema y el paisaje como asociaciones de interacción con los ecosistemas*".

Sin embargo, no se puede entender esta última visión de Odum y Margalef sobre la aplicación de las Leyes de la Termodinámica y la entropía en los ecosistemas sin comprender el concepto de homeostasia que se define como "*la capacidad de un ecosistema de auto-conservarse y auto-regularse*". Es decir, es la tendencia de los sistemas biológicos de resistir el cambio y permanecer en estado de equilibrio. En este punto, hay que mencionar que para lograr el equilibrio un sistema requiere de dos tipos de controles: la retroalimentación positiva, la cual acelera la desviación y es necesaria para el desarrollo y la sobrevivencia de los organismos y la retroalimentación negativa que se define como la entrada que contrarresta la desviación de la homeostasia. Sin embargo, dentro de cualquier sistema debe existir la acción recíproca de ambas retroalimentaciones. Odum, (1991) menciona que la retroalimentación en un ecosistema es interna y no es un objetivo fijo. El control total del ecosistema donde se manifieste, es el resultado de una red de procesos de retroalimentación interna que son poco entendidos.

Sin embargo, aunque la retroalimentación del sistema es un proceso interno la interacción de este con el medio es indispensable. Rueda, (1996) menciona que los ecosistemas son sistemas abiertos que requieren energía exterior para el mantenimiento de su estructura y supervivencia. Sin la energía suficiente el sistema no puede más que degradarse. Por lo que para este mismo autor las características que definen a un sistema abierto son: a) hay un intercambio con el ambiente; b) este intercambio es esencial para mantener el sistema; c) de este intercambio depende su capacidad reproductiva o de continuidad, así como su capacidad de transformación; d) el medio es tan importante como el sistema; e) medio y sistema constituyen subsistemas de un sistema más amplio y f) la relación sistema-medio, medio-sistema constituye el fenómeno más importante.

Los sistemas abiertos por lo tanto dependen de una alimentación material y energética, pero también de información organizada. Los sistemas abiertos como tienen capacidad de aprovechar, seleccionar y procesar la información del medio, evolucionan hacia sistemas más complejos. Por el contrario, si por alguna razón del sistema o del entorno, éste deja de procesar la información, el sistema se simplifica y pierde su estructura.

Para entender la complejidad del sistema es importante mencionar a Margalef (1982) en (Vargas-Abarzúa & Zúñiga-Molinier, 2010) quien estableció las relaciones de dependencia del sistema con el medio al clasificar a los sistemas por su naturaleza en endosomáticos, aquellos que utilizan su energía interna para su mantenimiento; y sistemas exosomáticos, los que forzosamente necesitan energía externa para su mantenimiento y sobrevivencia.

A este respecto, Morín, (1994) en (Barberousse, 2008) establece dos aspectos capitales para comprender a los ecosistemas; en el primero plantea que las leyes de las organizaciones complejas auto-organizativas no son de equilibrio, sino de desequilibrio (2ª Ley de la Termodinámica). El segundo aspecto formula que el conocimiento del sistema ha de encontrarse no solamente dentro del propio sistema, sino también en su relación con el ambiente, y esta relación no es una simple dependencia, sino que es parte del propio sistema. Es decir, que los sistemas más simples dependen más fuertemente de los nexos energéticos y a medida que los sistemas se hacen más complejos, la energía tiene un papel más secundario hasta hacer que la energía sea solo un soporte en la construcción, mantenimiento y cambios del propio sistema.

Por lo que dentro de un ecosistema *“un gasto de energía siempre se requiere para producir o mantener un flujo de energía o un ciclo de material”* (Margalef, 1976). De acuerdo a esto, el concepto de energía neta, las comunidades y sistemas ya sean naturales o hechas por el hombre, llegan a ser más grandes y más complejas y requieren más de la energía disponible para su mantenimiento (Teoría de la Complejidad).

Para entender el concepto de complejidad es necesario mencionar a Odum, (1991) quien puntualizó que en la jerarquía de la organización de un ecosistema, las interacciones de especies que tienden al desequilibrio, son limitadas por las bajas interacciones que

caracterizan a los grandes sistemas. Los grandes sistemas complejos tienden a ser aleatorios y pueden tener características más estables, es decir, los grandes ecosistemas tienden a ser más homeostáticos que sus componentes. Este principio puede ser el más importante de todos debido a que lo que funciona en un nivel, puede no funcionar en otro.

Más tarde Margalef (1986) en (Vargas-Abarzúa & Zúñiga-Molinier, 2010) introdujo el concepto de madurez de un ecosistema. Estableció que con el tiempo la madurez de un ecosistema crece en un ambiente sin interrupciones. Menciona que un ecosistema maduro tiene una estructura compleja -con gran diversidad y, por lo tanto, con mucha información- y una alta eficiencia desde un punto de vista energético (pérdidas bajas de energía). Por lo que un ecosistema maduro requiera bajos niveles de energía para mantenerse.

El propio Margalef, en (1978) señala que la sucesión ecológica es una maduración del ecosistema (aumento de la complejidad de la estructura y disminución del flujo de energía). La sucesión por lo tanto, puede definirse como “la transferencia de un excedente de energía disponible en el presente a una biomasa en el futuro”. Aunque es importante señalar que, desde la perspectiva del propio Margalef, la sucesión está marcada por la incertidumbre y está sujeta a las perturbaciones del medio (Walker, 2005).

Posteriormente E. Odum, (1991) retoma el concepto de sucesión establecido por Margalef y lo define como “el desarrollo del ecosistema o la sucesión autogénica ecológica”; y lo divide en dos fases; una etapa temprana que tiende a ser estocástica, como cuando las especies oportunistas colonizan un nuevo ambiente, y una etapa tardía, que tiende a ser más auto-organizada. Es decir, durante el desarrollo de un ecosistema la primera fase, netamente aleatoria, será realizada por las propias comunidades de organismos que forman el sistema y que modifican con sus actividades su entorno (sucesión autogénica) y en la segunda fase, o etapa tardía, la sucesión será realizada con cierta dirección, lo que conlleva una serie de pasos o estadios que van de las comunidades pioneras o iniciales hasta llegar al establecimiento de comunidades maduras y bien desarrolladas. Esa fase más organizada presenta un aumento en la biomasa, la productividad, la diversidad y la estabilidad del sistema.

Actualmente el desarrollo del ecosistema, o lo que se conoce como sucesión ecológica, puede definirse con base en tres parámetros: 1) es un proceso ordenado de la comunidad que comprende cambios en la estructura de la especie y en los procesos de la propia sucesión que sigue una determinada dirección, por lo que es predecible en el tiempo. 2) Es el resultado de la modificación del medio físico por la comunidad, esto es, la sucesión está controlada por la comunidad pese a que el medio físico condicione el tipo y la velocidad del cambio y ponga a menudo límites al desarrollo. 3) Culmina en un ecosistema estabilizado en el que se mantienen, por unidad de energía disponible, un grado máximo de biomasa (o de contenido de información) y de función simbiótica entre organismos (Walker, 2005).

En resumen, la “estrategia” de sucesión visto como un proceso en un plazo breve de tiempo es básicamente lo mismo que la “estrategia” del desarrollo evolutivo de la biósfera. El desarrollo de los ecosistemas tiene muchos paralelos en la biología de la evolución de los organismos y también en el desarrollo de la sociedad humana. Estudios anteriores a los de Margalef y Odum han contribuido a la teoría básica contenida en la definición anterior. Odum y Pinkerton (1955) fueron los primeros investigadores que basándose en la ley de la energía máxima de los sistemas biológicos de Lotka (1920), señalaron que la sucesión implica un desplazamiento fundamental en las corrientes de energía a medida que el incremento en el mantenimiento pasa a un segundo plano (Cano-Cancela, 2011).

Todos los ecosistemas tienden al aumento de la complejidad y a estadios más maduros de la sucesión. Así se tiene la siguiente ecuación establecida por Margalef en (1986) (Vargas-Abarzúa & Zúñiga-Molinier, 2010) llamado índice de Margalef o índice de Biodiversidad (I) que relaciona el número de especies presentes (s) con el número total de organismos (N) presentes en un ecosistema:

$$I = \frac{(s - 1)}{\ln N}$$

Por lo que partiendo de esta ecuación se establece que los ecosistemas tienen en la diversidad un indicador del estado conseguido en la sucesión. El numerador expresa de manera indirecta la energía consumida por el sistema que puede ser endosomática o exosomática (Vargas-Abarzúa & Zúñiga-Molinier, 2010).

2.4.1 Fuerzas y flujos en la producción de un sistema.

La producción de entropía, que se define como el grado de desorden de un sistema, puede expresarse de manera simple en términos de las fuerzas y los flujos termodinámicos asociados; es decir a cada fuerza X le corresponde un flujo J . Así la producción de entropía para un conjunto de n procesos simultáneos se establece como la suma de los n términos formados por los productos de fuerzas y flujos homólogos. Cuando los sistemas tienden al equilibrio, los flujos y las fuerzas termodinámicas se relacionan entre sí por leyes lineales. Sin embargo, en un proceso complejo el flujo i -ésimo se expresa como una combinación lineal de todas las fuerzas. Esta formulación permite definir el concepto de estado estacionario y determinar los criterios de estabilidad y evolución en los que está instituido. Así, un sistema está en estado estacionario si sus parámetros macroscópicos tales como temperatura, presión son independientes del tiempo. Esto es compatible con el desarrollo de procesos irreversibles en el interior del propio sistema (Soler, 2017).

Después de la formulación del Principio de Margalef, que postula que en los sistemas la parte con menos información alimenta a la parte del sistema con mayor información, el principio de la entropía no sería un factor de un universo similar sino todo lo contrario: sería garantía de su diferenciación y de su progresiva organización (Walker, 2005).

El mantenimiento y/o aumento de la complejidad de un espacio ocupado por un sistema se desarrolla a costa de disminuir y simplificar otros espacios. Hay un flujo neto de materiales, energía e información desde el espacio menos maduro (menos complejo) al espacio más maduro (que tiene mayor complejidad). En este caso la complejidad (la información organizada) sería la fuerza y el flujo estaría constituido por el tráfico de materia, energía e información de un ecosistema menos maduro a uno más complejo. Es lo que se llama explotación de un espacio sobre otro (Rueda, 1996).

El poder de explotación de un sistema sobre otro, o simplemente el poder que atesora un sistema están determinados por las siguientes expresiones:

$$P = f(I, E)$$

$$P = I * En$$

Donde la potencia (P) es una función de la información (I) organizada en el sistema (E) y de su consumo de energía (En). Entre dos sistemas que interactúan donde la potencia del espacio 1 (P_1) es mayor que la potencia del espacio 2 (P_2), el flujo neto de materiales o energía irá en la dirección de mantener o aumentar la complejidad de P_1 y de simplificar o reducir la complejidad del sistema P_2 . Puede suceder también que el flujo de materiales o incluso de energía se invierta, pero en este caso se ha de enmarcar el impacto que este flujo tenga en el aumento o disminución de la complejidad de los dos sistemas. Por ejemplo, la aportación de materiales residuales de un sistema más maduro a otro menos complejo no deja de ser un flujo de materia que puede parecer invertido; no obstante, este flujo libera de un cierto impacto al sistema más complejo y degrada el sistema más simplificado. La clave de la sustentabilidad global está en ver hasta qué punto la organización del sistema más simplificado es capaz de utilizar los residuos para enriquecer su estructura. El flujo, por lo tanto, se ha de entender en el contexto de creación o reducción de estructura y organización (Barberousse, 2008).

En consecuencia, una aproximación más operativa de la potencia (P) vendría dada por la sustitución de la información (I) por H (diversidad) de manera que se obtenga una medida de la complejidad del sistema. Aunque la sustitución representa renunciar prácticamente al orden funcional del sistema, por lo menos permite una aproximación a la medida de la complejidad del sistema en cierto momento (Soler, 2017).

La medida de la diversidad (H), como lo establece Margalef (1992) (Walker, 2005) “da una medida de la complejidad necesaria para que exista cierta estabilidad en una comunidad de especies”. Es decir, en el caso de un sistema urbano, los componentes de H se sitúan no solamente en la existencia de especies diferentes sino también, en la existencia de distintas categorías de información individual, de las actividades así como de las organizaciones significativas que se crean y que influyen en el sistema. Si para los ecosistemas esto funciona así, entonces es oportuno pensar en un camino para establecer estrategias de planificación en los ecosistemas urbanos, basadas más en el aumento de la complejidad de éstos y menos en el consumo desmedido de los recursos.

2.5 Ecosistema urbano.

Según Rueda, (1996), la mayoría de las fracciones de un sistema que se estudian como ecosistemas son también parte de otros ecosistemas mayores y, al mismo tiempo, contienen partes más pequeñas que se pueden estudiar como ecosistemas. La comprensión de los ecosistemas está íntimamente relacionada con las tasas de circulación dentro del sistema escogido; las tasas de flujo energético y materiales que atraviesan las fronteras hacia el interior y hacia el exterior del sistema; y el grado de estos flujos de frontera describe el ambiente del ecosistema. Para entender los mecanismos que explican el funcionamiento del sistema hay que disponer tanto de los datos del sistema global como de sus componentes principales.

La ciudad como sistema no se escapa a esta lógica. La fuerza de la teoría de sistemas consiste en considerar un sistema no como una unidad discreta, sino como una unidad compleja que no se reduce a la suma de las partes (Higueras, 2009).

Dos de las características especiales de los ecosistemas urbanos son: 1) el volumen de energía que viaja por fuera del sistema, es decir la energía que lo hace funcionar; y 2) la enorme movilidad horizontal que permite utilizar otros ecosistemas lejanos. La mayor parte de la energía endosomática de las ciudades se extrae de los sistemas agrícolas que hacen que los sistemas urbanos sean heterotróficos desde el punto de vista de la producción. Por lo que el mantenimiento de la complejidad de los sistemas urbanos se fundamenta en el consumo de energía exosomática y se apoya también en la explotación de recursos ubicados en espacios alejados. La utilización se concreta en la aportación y concentración en el sistema de la materia y la energía necesarias para su reproducción y en el aumento de su complejidad. El agua, los alimentos, la electricidad, los combustibles fósiles entre otros insumos, harán algunas veces recorridos muy lejanos, otras veces serán consumidos en la ciudad y en otras serán transformadas antes de su consumo en el propio sistema o en otros sistemas diferentes (Higueras, 2009)(Rueda, n.d.).

Un punto importante es observar las características energéticas de las ciudades basadas en el uso masivo de combustibles fósiles que generan flujos de energía concentrados. Las áreas urbanas tienen una gran concentración de energía por unidad de

superficie comparadas con un campo de cultivo o un ecosistema natural. Las magnitudes correspondientes de estos flujos son lo suficientemente grandes para alterar los contrapesos y equilibrios del sistema en cualquier lugar donde se concentren; por lo que la descripción de los sistemas urbanos requiere que se tenga la especificación de las unidades funcionales. Debido a esto, siempre existe incertidumbre en que el valor de las distintas variables sea diferente, al igual que su dirección (Rueda, 1996).

Esto significa que existe cierta incertidumbre en que la probabilidad de las diferentes variables sea diferentes, lo mismo que sus trayectorias. En relación a la información generada, se considera que siguen siendo corrientes de energía, no importando su escasa magnitud y pueden esquematizarse en los diagramas de flujo en conjunto con las variables de mayor energía (Higueras, 2009).

La cantidad de información aumenta con el número de unidades contenidas en el sistema. Para medir el grado de concentración de la información, se puede dividir la información calculada por el número de unidades implicadas. El segundo paso en este proceso consiste en especificar las partes que son combinaciones controladas y que se sabe que están organizadas (Rueda, 1996).

Margalef, (1976) midió la información en dos pasos: el primero, la complejidad de aquello que se examina (el mensaje, el sistema, la configuración, la asociación de especies etc.); y el segundo paso la complejidad de la combinación concreta, si es conocida. En los cálculos del contenido de información de las especies presentes en los sistemas naturales, los valores pueden superar las 5 unidades de información por individuo a causa de las combinaciones posibles. El número resultante, no indica si la complejidad está organizada o si es una situación aleatoria. El contenido de información calculado como el logaritmo de las combinaciones indica la cantidad útil que se tendría si el sistema estuviera organizado o indica la cantidad de confusión si no está organizado (Walker, 2005).

En los sistemas naturales, una especie es un conjunto de individuos que se mantiene aislada y separada por diferentes medios. La separación de especies se mantiene gracias a los diferentes mecanismos que impiden el cruce entre ellas y la mezcla de genes, pero el propósito perseguido con esta multiplicidad de especies consiste en dotar de la mayor

eficacia posible al sistema con la especialización, la división del trabajo y otras clases de circuitos de regulación y control. Un sistema con muchas especies y por tanto con más organización, tiene un número mayor de circuitos concebidos para regular y estabilizar la función global del sistema. De hecho, la diversidad que se puede encontrar en un sistema está dada por el número de especies diferentes en relación al número de individuos de cada una de ellas (Soler, 2017).

Las variables discretas en los sistemas urbanos, las que hacen el papel de las especies en los sistemas naturales, son esencialmente atributos que tienen los individuos o las actividades que atesoran la información dinámica con relaciones multivariadas (de cooperación, de competencia, etc.) con otros. Los atributos, por otra parte, son elementos diferenciadores cargados de información que condicionan las relaciones y las trayectorias de las corrientes de materia, energía e información. Crean diversas redes donde cada atributo proporciona especialización, división de trabajo y otros circuitos de regulación y control. En los sistemas urbanos es el hombre quien proporciona parte de los atributos, el que atesora parte de la información diferente y quien permite, a partir de las diferencias, la multiplicación de circuitos de regulación (Rueda, n.d.).

Algunos autores han propuesto modelos que tienen en la energía, y más específicamente, en la potencia energética su base. De hecho, según Margalef, (1992) cualquier trabajo realizado, cualquier intercambio de energía, implica un aumento equivalente de información potencial (Walker, 2005). Debido a que cuando se proponen medidas de la información para un propósito limitado y definido, es más realista utilizar la complejidad como unidad de medida. A nivel del ecosistema urbano, la complejidad sería una expresión del conjunto de variables discretas con contenido significativo de información, de sus interacciones y cómo se integran en el tiempo y en el espacio. Por lo que la complejidad de los sistemas urbanos puede analizarse haciendo uso del concepto de la diversidad. Los organismos vivos, y sobre todo el hombre y sus organizaciones, son portadores de información y la atesoran de forma dinámica en el tiempo, características que indican el grado de acumulación de la información (Rueda, 1996).

Por lo que la complejidad de los sistemas urbanos puede analizarse haciendo uso del concepto de diversidad (H) propuesto por Margalef (1992). Los organismos vivos y

sobretudo el hombre y sus organizaciones, son portadores de información y guardan en un determinado espacio y tiempo características que indican el grado de acumulación de información y de la capacidad para influir significativamente en el presente y controlar el futuro. Por lo que se puede establecer el grado de organización de un territorio así como su potencialidad de intercambio informativo a través del análisis de la diversidad para diferentes escenarios urbanos. Sabiendo la cantidad de portadores de diferente información que se dan cita en un espacio concreto, se puede saber en momentos específicos si la organización aumenta o disminuye y en qué partes de la ciudad lo hace (Rueda, n.d.).

En los sistemas urbanos existen además de los portadores de información, redes que posibilitan el intercambio de materia, energía e información entre estos portadores. Las redes de intercambio de información de materia y energía constituyen una parte importante de la organización del sistema. Estas redes tienen relación con la complejidad de las relaciones económicas, la movilidad de las personas, la materia, la energía y el movimiento de información a través de las tecnologías de comunicación. Las redes tienen un efecto multiplicador sobre el intercambio, y por lo tanto, en la complejidad del sistema (EsMartCity, 2018).

Según Margalef, (1995) un sistema disipativo establece que en los ecosistemas los aspectos disipativos y los auto-organizativos son capaces de recuperar una fracción creciente del equivalente de la entropía producida. El propio Margalef menciona que en los sistemas se dan dos subsistemas que se acoplan: el disipativo y el que acumula información; donde el sistema disipativo se renueva rápidamente, y es el diferencial entrópico utilizado para sustentar las estructuras más o menos próximas, con una tasa de renovación más baja. Cuando este principio se da entre dos sistemas, se dice que el sistema con más información organizada explota al que presenta una menor complejidad (Walker, 2005)

Sin embargo, es importante mencionar que la tasa de conversión del entorno es diferente según los sistemas. En los sistemas vivos y en los ecosistemas naturales, hay una tendencia a maximizar la recuperación de entropía en términos de información. Esta tendencia se manifiesta tanto en la evolución como en la sucesión. En los ecosistemas urbanos también se produce un aumento de organización del sistema pero sin maximizar la recuperación de entropía en términos de información. El abandono de este principio

posiblemente tiene su explicación en los excedentes de energía fósil y en la capacidad de utilizar recursos basados en la idea que son ilimitados. Por lo que en el actual comportamiento de los sistemas urbanos, actúan como si la ciudad no tuviera que depender de los recursos ni de los flujos residuales. Se considera una máquina en movimiento continuo y, además, acelerado. Como lo menciona Margalef (1995) “cuando el aumento de la entropía contribuye muy poco a la auto-organización porque hay muchos recursos, se manifiesta la estrategia del despilfarro” (Rueda, 1996).

En los ecosistemas naturales, la evolución hacia organizaciones relativamente estables conduce a una desaceleración de los procesos de transformación de la materia y la energía debido a la disminución de la entropía no aprovechada para conseguir el mismo nivel de información. Sin embargo, la explotación es superior en aquellos territorios que desarrollan un proceso acelerado de urbanización, por lo que el mantenimiento del sistema se basa en el consumo energético y de materiales que los habitantes tendrán que pagar de forma suplementaria (Higueras, 2009).

La simplificación de las diversas zonas del territorio provocado por la urbanización se realiza necesariamente con un consumo mayor de materia y energía. La parte disipativa del sistema la constituye sobre todo la periferia de la ciudad. Se trata de ir creando nuevas superficies urbanizadas poco diversas y simples. Son subsistemas de crecimiento acelerado con tasas E/H elevadas y, como en los sistemas naturales, los excedentes producidos en los sistemas urbanos permiten el aumento relativo de los componentes menos productivos (EsMartCity, 2018).

Maximizar los intercambios, aumentar el número de miembros diversos con capacidad de relación, añadiendo las redes que hacen posible el intercambio de bienes y de información, es aumentar la diversidad potencial de comportamientos. Si este aumento de complejidad se hace intentando maximizar la recuperación de entropía en términos de información, el modelo de crecimiento se acerca a la idea de sustentabilidad, mientras que el modelo que se mantiene maximizando la entropía que se proyecta en el entorno, se aproxima a la idea de crecimiento sostenido (Rueda, 1996).

Sin embargo, la reducción de la complejidad del ambiente va supeditada a un aumento de la complejidad del sistema urbano. El aumento de la complejidad del sistema urbano se efectúa a costa de aumentar la entropía generada, que se proyectará en el entorno y aumentará a la vez la incertidumbre. Es por ello que el único aumento de la complejidad que puede reducir la incertidumbre del ambiente es aquella que sigue los principios de minimización entrópica que se proyecta en el entorno (Vargas-Abarzúa & Zúñiga-Molinier, 2010).

Perseguir la minimización de la entropía, al mismo tiempo que se maximiza la complejidad de los sistemas urbanos, incrementando la incertidumbre de la información, obliga a reevaluar los intercambios, a volver a conceptualizar muchas variables y poner valor a otras con el fin de aumentar la capacidad de anticipación del sistema. El sistema económico, o el intercambio de bienes deberán ser de un máximo aprovechamiento de los recursos con un mínimo de residuos. A nivel local significa establecer un grado de explotación máximo de los sistemas naturales y agrícolas respetando su permanencia en el tiempo (Rueda, n.d.).

Por lo que una de las herramientas para evaluar las modificaciones ambientales que suceden en los ecosistemas debido al crecimiento de las ciudades son los estudios de paisaje.

2.6 El paisaje y su planeación.

Una valiosa herramienta para realizar una planeación adecuada del territorio son los estudios del paisaje, los cuales se han elaborado para ayudar a resolver problemas prácticos en la gestión del territorio con el fin de alcanzar un desarrollo sustentable. Las necesidades varían desde la valoración del paisaje como recurso para la conservación y protección de las áreas naturales, hasta la restauración de zonas dañadas (*Plan General de Ordenación Urbana de Catarroja (Valencia)*, 2011).

El término paisaje es el resultado de la combinación de aspectos naturales, culturales, históricos, funcionales, visuales y estéticos. Se trata de un concepto que ha venido cambiando y evolucionando a través de la historia y de las ciencias o disciplinas que lo han usado como la Biología, la Ecología, la Arquitectura y la Geología. Desde su mismo origen, el término ha cambiado de concepción dependiendo de su utilización en distintas lenguas. Paisaje y su equivalente en francés “paysage”, derivan de país, que a su vez deriva del latín “pagus”, que se refiere a un distrito rural definido, aldea o poblado; mientras que landscape (inglés), landschaft (alemán), landschap (holandés) tienen la misma raíz germánica, pero no el mismo significado. Por ejemplo, en alemán el término se refiere a una unidad administrativa, mientras que en el inglés de Estados Unidos se usa como escenario natural, no así en Inglaterra donde el término paisaje incluye por lo general elementos humanos; y en Países Bajos el término estuvo referido en la antigüedad principalmente a la estética de una pintura, y no fue sino hasta el Siglo XX cuando tomó connotaciones académicas como una “porción de territorio que incluye todos los objetos” (Contreras-Delgado, 2005).

También es de uso común en la cultura artística y literaria. Como concepto e incluso como categoría científica, fue en la Geografía donde la noción de paisaje tuvo su origen. Sin embargo es en la misma Geografía donde este término ha tomado diversas interpretaciones, lo que ha dado lugar a una verdadera confusión teórica e incluso metodológica. Afortunadamente, este debate ha originado que en los últimos años se busque una articulación entre las diversas acepciones, dejando a un lado los conflictos entre las diversas interpretaciones (Mateo-Rodríguez, 2006).

Por lo que en la actualidad el concepto de paisaje se concibe como un conjunto cuyos elementos forman un todo, con conexiones de entradas, salidas y retroalimentación; y valiéndose de esta última definición, es pertinente afirmar que el paisaje es un espacio físico y un sistema de recursos naturales donde todos sus componentes naturales, abióticos y humanos se encuentran en relación sistémica unos con otros. Asimismo, la propia Iniciativa Latinoamericana del Paisaje (LALI) establece el concepto de paisaje como “un espacio/tiempo resultado de factores naturales y humanos, tangibles e intangibles, que al ser percibidos y modelados por la gente, refleja la diversidad de las culturas” (LALI, 2012). Concebir así al paisaje, como un sistema, significa tener una percepción del todo, comprendiendo las interrelaciones entre todas las partes (Mateo-Rodríguez, 2006).

Actualmente el concepto de paisaje tiene una enorme importancia en las políticas de ordenación territorial orientadas hacia el desarrollo sustentable, ya que es en esa escala donde se hacen más notorias las modificaciones en el medioambiente debidas al cambio climático, tanto en los países pobres como en los más industrializados (de la Fuente, 2014). Por lo que una valiosa herramienta para realizar una planeación adecuada del territorio son los estudios del paisaje, los cuales se han elaborado para ayudar a resolver problemas prácticos en su gestión con el fin de alcanzar un desarrollo sustentable. Las necesidades varían desde la valoración del paisaje como recurso para la conservación y protección de áreas naturales hasta la restauración de zonas dañadas (*Plan General de Ordenación Urbana de Catarroja (Valencia)*, 2011).

III. ESTADO DEL ARTE

3.1 Servicios ecosistémicos en Humedales.

Los humedales forman parte de la riqueza natural de las ciudades. A escala mundial, brindan servicios de forma gratuita por valor de miles de millones de dólares y realizan una contribución fundamental a la salud y el bienestar humano (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005). Sin embargo, la población mundial según las últimas previsiones, llegará a nueve mil millones de personas en 2050, lo que ejercerá una mayor presión sobre los humedales y los servicios ecosistémicos que brindan (*La Convención de Ramsar*, 2014).

Costanza y colaboradores (1997) establecieron un valor monetario sobre los beneficios que prestan los distintos ecosistemas al hombre y posteriormente distintos autores establecieron que el valor económico de los servicios que prestan los humedales intactos, no intervenidos y que funcionen naturalmente, es mucho mayor que los beneficios obtenidos al convertirlos para destinar la tierra a usos intensivos que el hombre considera de mayor valor como la agricultura o el crecimiento de las ciudades (Berlanga-Robles et al., 2008)

Lamentablemente, el atractivo que ejercen los beneficios a corto plazo, como la construcción de mayor número de viviendas, sigue conduciendo a la destrucción y degradación de los humedales en muchas partes del mundo. De hecho, hay indicios preocupantes de que los humedales, y los servicios que prestan están desapareciendo a un ritmo mayor que el de otros tipos de ecosistemas (Kumar et al., 2017; C. Ramsar, 2017).

Sin embargo, hoy en día la mayoría de los estudios realizados en el tema señalan una reducción del 64% en la superficie total de humedales existentes en el planeta, con una mayor tasa de pérdida en humedales continentales que en los costeros (Ramsar, 2006). Situación aún más crítica para humedales localizados en zonas áridas y semiáridas del mundo, debido principalmente a la sobreexplotación de los recursos hídricos para satisfacer el consumo residencial, el desarrollo agrícola e industrial; además del cambio en el uso del suelo y la contaminación producidas por las dinámicas de urbanización, entre otras actividades antropogénicas que afectan a los humedales (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005).

3.2 Estudios de paisaje en Humedales.

Uno de los instrumentos para realizar la planeación y ordenación territorial son los estudios de paisaje ya que permiten establecer los principios, estrategias y directrices para catalogar, valorar y proteger el paisaje, así como a resolver problemas prácticos en su gestión con el fin de alcanzar un desarrollo sustentable (Muñoz-Criado, 2012). Los estudios varían desde la valoración del paisaje como recurso para la conservación y protección de áreas naturales hasta la restauración de zonas dañadas (*Plan General de Ordenación Urbana de Catarroja (Valencia)*, 2011).

Se trata por lo tanto, de instrumentos que incorporan los aspectos paisajísticos a la planeación territorial y urbana tanto en el ámbito municipal como estatal. Éstos han sido muy utilizados en varios países como Inglaterra, Francia, Italia, Estados Unidos y España (Urquijo & Bocco, 2011). A nivel mundial los estudios de paisaje en humedales se han centrado en la cuantificación del cambio en la cobertura de suelo (Athukorala et al., 2021; Mondal et al., 2017), la evaluación de la utilidad del humedal como albergue de vida silvestre (Festus et al., 2019), la evaluación del riesgo y la vulnerabilidad en el tiempo (Z. Li et al., 2020), la elección de los mejores indicadores de cambio en el paisaje de los humedales (WenPeng et al., 2018), la relación entre los factores de impacto y las tasas de cambio (A. J. Liu & Cameron, 2001) y la cuantificación de los cambios tanto espaciales como temporales usando sensores remotos (Athukorala et al., 2021; Y. Li et al., 2010; G. Liu et al., 2014). En estos trabajos se trata de entender el efecto que tienen los cambios paisajísticos sobre la biodiversidad, los procesos ecológicos y la función de estos ecosistemas.

En América Latina a partir de la firma en 2012 de la Iniciativa Latinoamericana del Paisaje (LALI), se ha tratado de impulsar como uno de sus objetivos el desarrollo de los estudios del paisaje en sus países miembros (LALI, 2012). Empero, los estudios de paisaje se han enfocado en realizar revisiones bibliográficas del marco conceptual y metodológico para el estudio de los paisajes de humedales desde el enfoque de la Geo-Ecología (Martínez et al., 2014), identificar los humedales urbanos como ecosistemas estratégicos en la estructura y función del paisaje aledaño (Cortés-Ballén, 2017), clasificar los humedales usando un enfoque paisajístico basado en Sistemas de Información Geográfica (Martínez &

Rodríguez, 2015), y por último, en evaluar el paisaje visual empleando la fragilidad y la capacidad de uso del humedal (Muñoz-Pedrerros et al., 2012a). Con ayuda de esta información básica es posible iniciar con el diseño de planes de ordenamiento territorial que permitan conservar estos ecosistemas.

En México los estudios de paisaje se han orientado principalmente en los cambios de uso de suelo, la distribución espacial de las especies y la fragmentación del paisaje, tanto de las selvas como de los bosques húmedos (Arroyo-Rodríguez, 2019; Arroyo-Rodríguez et al., 2017). Sin embargo, existen pocos estudios en humedales de zonas áridas (Arroyo-Rodríguez et al., 2017), donde el impacto de los cambios en el paisaje es diferente que en los ambientes tropicales, ya que depende de las características bióticas y abióticas de cada zona. Es en este sentido que el presente trabajo se enfocó en aplicar una adaptación de la metodología de los estudios del paisaje usada en la Comunitat Valenciana (Muñoz-Criado, 2012) en el Sistema Lagunar México-Xochimilco-Campestre, un sitio Ramsar localizado en la ciudad de Mexicali, con el fin que éste sea contemplado en la planeación territorial de la ciudad.

IV. MARCO METODOLÓGICO

Se aplicaron dos distintas metodologías para evaluar por una parte, los servicios ecosistémicos prestados por el sistema lagunar México Xochimilco-Campestre, y por otra para valorar los paisajes relevantes del sistema lagunar. Se empleó el Método de Evaluación Rápida de los Servicios de los Humedales (RAWES, por sus siglas en inglés), propuesto por McInnes & Everard, (2017) para evaluar las funciones y los servicios de los humedales de forma rápida y sencilla. Mientras que se utilizó una adaptación de la metodología empleada por la Generalitat Valenciana (Muñoz-Criado, 2012) para valorar los paisajes del sistema lagunar, con el fin de definir las medidas de protección, gestión y ordenación para preservar dichos humedales.

4.1 Descripción del área de estudio

El sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre está ubicado en la parte sur de la ciudad de Mexicali, Baja California, México; en las coordenadas latitud $32^{\circ}57'94.86''N$ y longitud $115^{\circ}45'47.19''O$ y tiene una superficie total aproximada de 114.74 hectáreas (Figura 9).

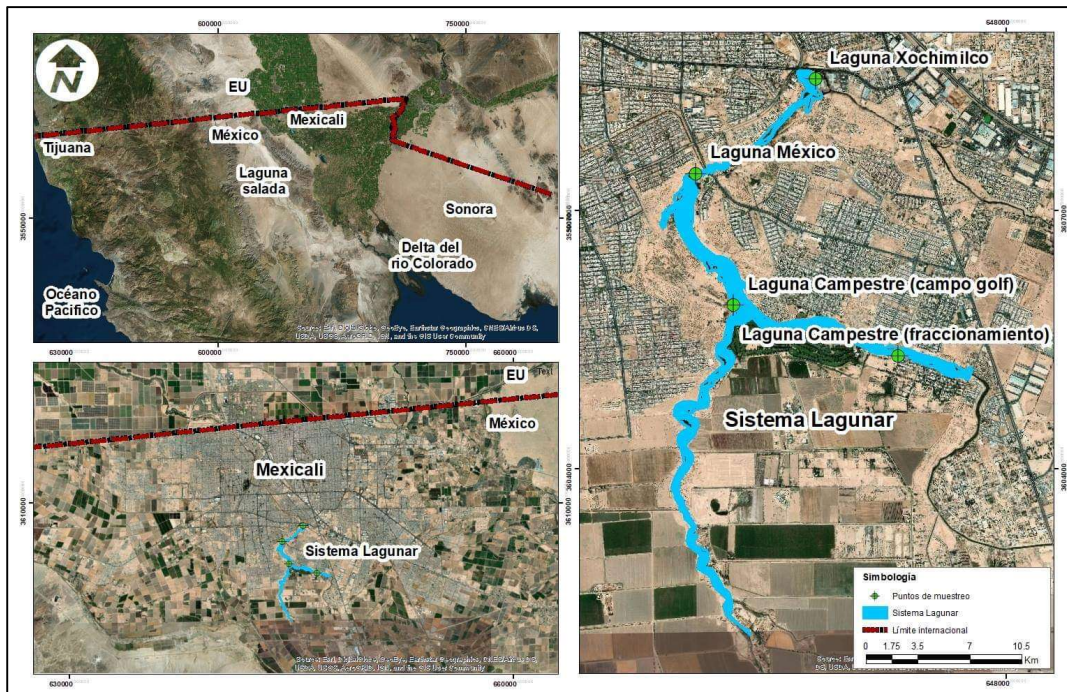


Figura 9. Localización del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre. Fuente: elaboración propia. Con base en ArcGis 10.2

Las características del medio físico como fisiografía, hidrología, clima, geología, tipos de suelo, flora y fauna del sistema lagunar se describen a continuación:

4.1.1 Fisiografía.

El sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre está situado en la Subprovincia del Desierto de Altar, que forma parte de la Provincia Fisiográfica de la Llanura Sonorense. Esta subprovincia es un desierto arenoso casi en su totalidad, pero también incluye las anteriores zonas deltaicas del Río Colorado que forman actualmente el Valle de Mexicali. Otra característica que sobresale de esta subprovincia es la presencia de terrenos inferiores al nivel del mar en su parte norte (INEGI, 2001).

4.1.2 Hidrología.

El sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre forma parte del Sistema de Humedales Remanentes del Delta del Río Colorado (SHRDRC), registrado ante la Convención Ramsar como el sitio 1822 de importancia internacional (C. Ramsar, 2008). Se integra al subsistema hídrico del Río Nuevo en su cuenca baja y es alimentado actualmente con aguas del retorno agrícola del Distrito de Riego 014 y del drenaje pluvial (Baeza-Herrera et al., 2010; Domínguez-Tapia, 2011; Salazar-Briones, 2018); aunque originalmente formaba parte de los cauces secundarios que regulaban las grandes inundaciones del Río Colorado (Samaniego López, 2008; Walther, 1991). Actualmente el sistema lagunar desemboca en el Río Nuevo, considerado el único río en Norteamérica cuya dirección de flujo es de Sur a Norte y desemboca en Salton Sea en California, Estados Unidos (Domínguez-Tapia, 2011).

El sistema lagunar ha sufrido cambios en su forma natural debido principalmente al poco aporte de agua que recibe, lo cual origina que las terrazas fluviales que se forman sean de menor tamaño que las que aparecen en el modelo morfológico típico de un río. Estas terrazas tienen dos formaciones diferentes: una en las riberas del río donde se crean bordes pequeños que reciben una gran carga, y otra formación que recibe menor carga y en la que se acumula sedimento por lo que es común que se desarrolle vegetación asociada como

plantas xerófitas y halófitas, así como la formación de humedales (Baeza-Herrera et al., 2010), donde muchas especies animales, principalmente aves, utilizan como zonas de descanso, alimentación y anidación.

4.1.3 Clima.

El clima predominante en la ciudad de Mexicali, según la clasificación climática de Köppen, modificada por (García, 2004) es del tipo BW(h')hs(x')(e') que se refiere a un clima seco, desértico, árido, cálido y muy extremo, con una oscilación mayor a los 14°C en el promedio de las temperaturas medias mensuales y con un régimen de lluvias pobre durante el invierno y tormentas intensas y aisladas en verano. El promedio de precipitación anual es de 132mm (*Gobierno Del Estado de Baja California*, 2014). Sin embargo, aunque la temperatura promedio anual es de 22.4°C, en verano la temperatura máxima puede sobrepasar los 50°C, mientras que en invierno la temperatura mínima puede ser menor a los 0°C (Villanueva-Solís, 2015).

4.1.4 Geología.

El origen de las rocas y del suelo que existe en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre es del periodo Cenozoico, que está representado por secuencias sedimentarias y volcánicas de distintas composiciones. La unidad base son depósitos paleocénicos compuestos por areniscas con intercalación de horizontes de limolitas, lentes de conglomerado y presenta en ocasiones fósiles de origen marino del Periodo Terciario. Esta unidad se formó en un ambiente transicional de continental a marino. Sin embargo, destaca que en esta misma unidad basal existe un conglomerado polimíctico asociado a terrazas fluviales y que se acumuló en un ambiente continental (INEGI, 2011a). Los conglomerados polimícticos son gravas litificadas constituidas de clastos, redondeados a subredondeados cuyos diámetros son mayores a los 2mm y que provienen de dos o más rocas (Geología, 2006).

4.1.5 Tipos de Suelos.

Los suelos predominantes en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre son los regosoles, que son los más abundantes en el estado. Se trata de suelos que se caracterizan por no presentar capas distintas. En general son de tono claro y a menudo están acompañados de litosoles y de roca o tepetate. Su fertilidad es variable y su uso agrícola está condicionado principalmente a su profundidad y a la pedregosidad que presenten. Se pueden desarrollar diferentes tipos de vegetación en él (Domínguez-Tapia, 2011; *Gobierno Del Estado de Baja California. Edafología*, 2015).

El segundo tipo de suelos que hay en el sistema lagunar son los vertisoles. Se caracterizan por ser suelos arcillosos de color café rojizo que presentan grietas anchas y profundas en época de sequía. Se trata de suelos productivos, pero por la gran cantidad de arcillas que poseen son muy duros cuando están secos y muy pegajosos cuando se mojan, por lo que a menudo presentan problemas de inundación y drenaje. Son suelos aptos para la agricultura; sin embargo los que se encuentran en los alrededores de la ciudad de Mexicali poseen altas cantidades de sodio, por lo que no son adecuados para los cultivos agrícolas (Domínguez-Tapia, 2011; INEGI, 2011b).

4.1.6 Vegetación.

En el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre se puede encontrar diferentes tipos de vegetación asociada debido a la fisiografía, geología, tipo de suelo, geografía del área y a la presencia de agua. Por lo que la vegetación es variada y está distribuida por zonas o a manera de parches por todo el sistema lagunar (Tabla 6 y Figura 10).

Tabla 6. Especies de vegetación identificadas en el sistema lagunar México-Xochimilco Campestre.

Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico
Cachanilla (N)	<i>Pluchea sericea</i>	Romerillos	<i>Sesuvium verrucosum</i>
Malva del desierto	<i>Sphaeralcea ambigua</i>	Eucalipto australiano (IN)	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
Cenizo (N)	<i>Atriplex canescens</i>	Buena mujer (N)	<i>Chloracantha spinosa</i>
Big saltbush	<i>Atriplex lentiformes</i>	Palma datilera (IN)	<i>Phoenix dactylifera</i>
Gobernadora (N)	<i>Larrea tridentata</i>	Mezquite terciopelo (N)	<i>Prosopis velutina</i>
Junco (palo verde) (N)	<i>Parkinsonia aculeata</i>	Tesota	<i>Senegalia greggii</i>
Hierba del fuego	<i>Heliotropium curassavicum</i>	Mezquite juliflora (N)	<i>Prosopis juliflora</i>
Pino salado euroasiático (IN)	<i>Tamarix ramosissima</i>	Chuparrosa	<i>Justicia californica</i>
Mezquite dulce (N)	<i>Prosopis glandulosa</i>	Palma abanico	<i>Washingtonia filifera</i>
Tule	<i>Typha domingensis</i>	Correhuela de Eurasia (IN)	<i>Convolvulus arvensis</i>
Carrizo asiático gigante (IN)	<i>Arundo donax</i>	Achicoria europea (IN)	<i>Sonchus oleraceus</i>
Iodine brush	<i>Allenrolfea occidentalis</i>	Toloache (N)	<i>Datura stramonium</i>
Lineleaf whitepuff	<i>Olligomeris linifolia</i>	Flor oculta	<i>Cryptantha intermedia</i>
Huizapol	<i>Distichlis spicata</i>	Cardo ruso (IN)	<i>Salsola tragus</i>
Suculenta (N)	<i>Euphorbia albomarginata</i>	Malva de Castilla (IN)	<i>Malva parviflora</i>
Muérdago del mezquite	<i>Phoradendron californicum</i>	Malva rastrera	<i>Malvella leprosa</i>
Mezquite dulce o tornillo	<i>Prosopis pubescens</i>	Amaranto	<i>Amarantus blitoides</i>
Mostacilla (IN)	<i>Sisymbrium irio</i>	Verdolaga (IN)	<i>Portulaca oleracea</i>
Toloache sagrado (N)	<i>Datura wrightii</i>	Armuelle	<i>Atriplex prostrata</i>
Palafoxia (N)	<i>Palafoxia arida</i>	Abrojo de flor amarilla (IN)	<i>Tribulus terrestris</i>
Flor de rocío (N)	<i>Encelia farinosa</i>	Eulobus	<i>Eulobus sp.</i>
Pino salado mediterráneo (IN)	<i>Tamarix aphylla</i>	Hierba del burro (N)	<i>Ambrosia dumosa</i>
Palo verde azul	<i>Parkinsonia florida</i>	Chayotillo (N)	<i>Datura discolor</i>
Rodadora (IN)	<i>Salsola kali</i>	Booth's evening primrose	<i>Eremothera boothii</i>
Sauce norteño	<i>Salix gooddingii</i>	Hierba carnífera (N)	<i>Erigeron bonariensis</i>
Carrizo (N)	<i>Phragmites australis</i>	Baja desert thorn	<i>Lycium brevipes</i>
Limoncillo (N)	<i>Pectis papposa</i>	Árbol del manteco	<i>Parkinsonia praecox</i>
Álamo de Frémont	<i>Populus fremontii</i>	Venenillo	<i>Asclepiadoideae sp.</i>
Amaranto blanco (IN)	<i>Amaranthus albus</i>	Hediondilla (IN)	<i>Chenopodium murale</i>
Spreading alkaliweed	<i>Cressa truxillensis</i>	Jabonera (IN)	<i>Lysimachia arvensis</i>

N= Nativa, IN= introducida. Elaboración propia con base en NaturaLista, (2017).

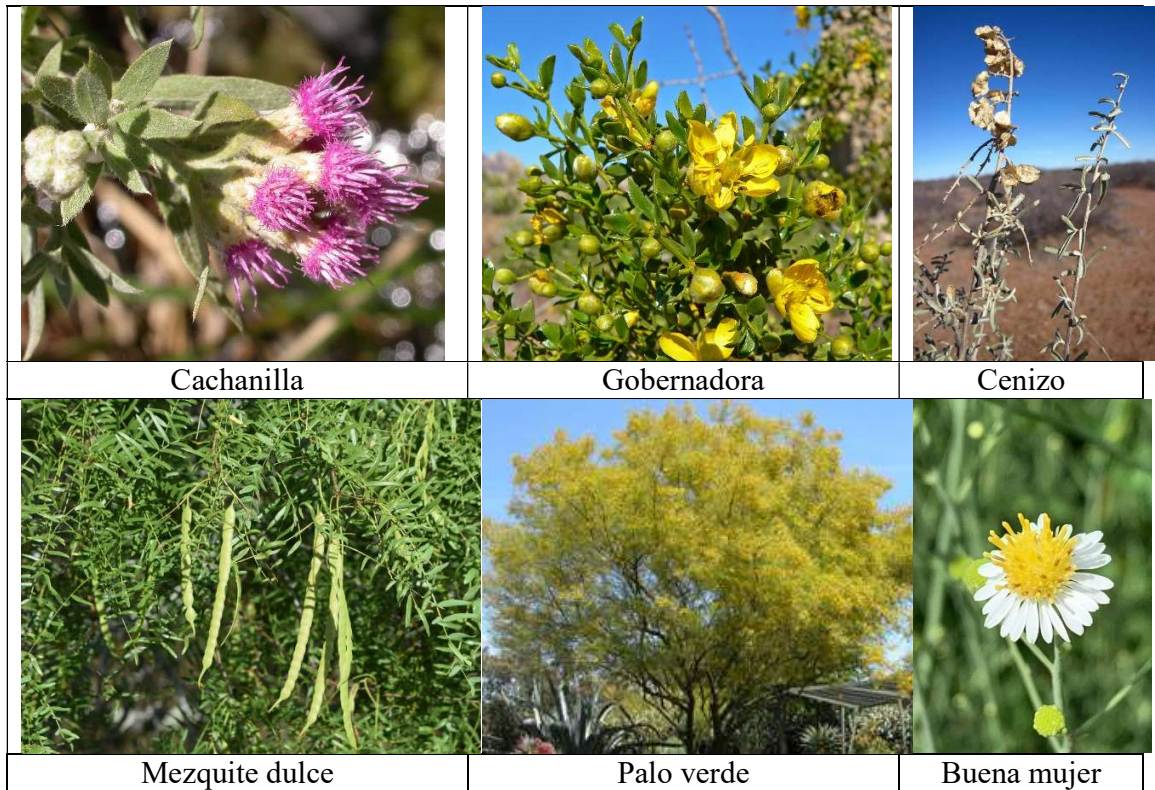


Figura 10. Especies más comunes de vegetación que habitan el sistema lagunar México-Xochimilco Campestre. Fuente: elaboración propia.

4.1.7 Fauna.

En el sistema lagunar México-Xochimilco Campestre es el hábitat de una gran diversidad de especies, principalmente aves, que utilizan estos humedales de forma temporal o permanente, debido a que el área se encuentra dentro de la Ruta del Pacífico para aves Migratorias (Pacific Flyway) en su viaje de Canadá o EU hacia el sur del continente, pasando por México, lo cual resalta su importancia internacional (Hinojosa-Huerta et al., 2004) (Figura 10). Además de aves habitan el sistema lagunar artrópodos, insectos, moluscos, peces, reptiles y mamíferos (Márquez-Huitzil & Peters-Recagno, 2008). Las especies de artrópodos que pueden encontrarse en el sistema lagunar aparecen listadas en el Tabla 7; insectos en el Tabla 8; moluscos en el Tabla 9; peces en el Tabla 10; reptiles en el Tabla 11; mamíferos en el Tabla 12 y aves en el Tabla 13 y Figura 11.

Tabla 7. Especies de artrópodos identificadas en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.

Nombre común	Nombre científico
Arañas araneomorfas	<i>Philodromidae sp.</i>
Araña camuflada de las flores	<i>Misumena vatia</i>
Araña tejedora manchada	<i>Neoscona sp.</i>
Alacrán de Baja California	<i>Paravaejovis confusus</i>
Escolopendra tigre (N)	<i>Scolopendra polymorpha</i>
Alacrán	<i>Paravaejovis waeringi</i>

N= Nativa. Elaboración propia con base en NaturaLista, (2017).

Tabla 8. Especies de insectos identificadas en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.

Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico
Ambarina intensa	<i>Perithemis intensa</i>	Libélula planeadora de alforjas	<i>Tramea sp.</i>
Abeja melífera europea (IN)	<i>Apis mellifera</i>	Avispa de arena	<i>Bembix americana</i>
Catarina de 7 puntos (IN)	<i>Coccinella septempunctata</i>	Escolopendra americana	
Mosquito que no muerde	<i>Chironomus sp.</i>	Mariposa azufre naranja (N)	<i>Colias eurytheme</i>
Mariposa azul pigmea	<i>Brephidium exilis</i>	Cicada o cigarra	<i>Platypedia putnami</i>
Avispa hormiga de terciopelo	<i>Dasymutilla gloriosa</i>	Mosca negra	<i>Simuliidae sp.</i>
Azulilla de estanque común	<i>Enallagma civile</i>	Saltamontes	<i>Conozoa sp.</i>
Hormiga cosechadora	<i>Pogonomyrmex californicus</i>	Azulilla de estanque variable	<i>Enallagma praevarum</i>
Avispa de papel	<i>Polistes apachus</i>	Caballito pigmeo de Barber	<i>Ischnura barberi</i>
Agalla del Creosote	<i>Asphondylia auripila</i>	Avispa de barro de patas amarillas (N)	<i>Sceliphron caementarium</i>
Saltarina de tablero blanco	<i>Burnsius albescens</i>	Mosca panteonera	<i>Lucilia sericata</i>
Mariposa blanca con parches negros (N)	<i>Pontia protodice</i>	Mosca (IN)	<i>Neomyia cornicina</i>
Rayadora azul	<i>Pachydiplax longipennis</i>	Avispa de papel	<i>Polistes aurifer</i>
Mariposa azufre gigante	<i>Phoebis agarithe</i>	Sírfido (IN)	<i>Eristalinus aeneus</i>
Rayadora abigarrada	<i>Sympetrum corruptum</i>	Tábano	<i>Tabanus punctifer</i>
Caballito pigmeo de Rambur	<i>Ischnura ramburii</i>	Abejorro carpintero de Sonora	<i>Xylocopa sonorina</i>

Mantis de California	<i>Stagmomantis californica</i>	Termina isóptera	<i>Gnathamitermes sp.</i>
Escarabajo acorazado del desierto	<i>Asbolus verrucosus</i>	Avispa	<i>Chelonus sp</i>
Avispa	<i>Podalonia sp.</i>	Avispa momia	<i>Aleiodes sp.</i>
Catarina convergente	<i>Hippodamia convergens</i>	Avispa predadora	<i>Liris sp.</i>
Mariposa reina	<i>Danaus gilippus</i>	Abeja solitaria	<i>Centris pallida</i>
Abeja cornuda	<i>Melissodes sp.</i>	Avispa cuco	<i>Chrysidinae sp</i>
Mosca azul oriental (IN)	<i>Chrysomya megacephala</i>	Splendid tamarisk weevil	<i>Coniatus splendidulus</i>
Coleóptero	<i>Galerucini sp.</i>	Avispa de arena	<i>Stictiellina sp.</i>
Himenóptero	<i>Cercerini sp.</i>	Abeja cavadora rayada	<i>Micranthophora sp.</i>

N= Nativa, IN = Introducida. Elaboración propia con base en NaturaLista, (2017).

Tabla 9. Especies de moluscos identificadas en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.

Nombre común	Nombre científico
Almeja canasta asiática (IN)	<i>Corbicula fluminea</i>
Caracol de tierra	<i>Helicoidea sp.</i>
Caracol de lodo de Nueva Zelanda (IN)	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>

IN = Introducida. Elaboración propia con base en NaturaLista, (2017).

Tabla 10. Especies de peces identificadas en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.

Nombre común	Nombre científico
Carpa común europea (IN)	<i>Cyprinus carpio</i>
Sardina molleja (IN)	<i>Dorosoma cepedianum</i>
Tilapia (IN)	<i>Oreochromis sp.</i>
Tilapia africana (IN)	<i>Coptodon zillii</i>
Lobina negra (N)	<i>Micropterus salmoides</i>
Mojarra negra (IN)	<i>Pomoxis nigromaculatus</i>
Guayacón mosquito	<i>Gambusia affinis</i>
Sardinita (N)	<i>Dorosoma petenense</i>
Topote de velo negro	<i>Poecilia latipinna</i>
Carpita	<i>Leuciscinae sp.</i>

N= Nativa, IN = Introducida. Elaboración propia con base en NaturaLista, (2017).

Tabla 11. Especies de reptiles identificadas en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.

Nombre común	Nombre científico
Lagartija de manchas lateral norteña (N) (A)	<i>Uta stansburiana</i>
Huico tigre del Noroeste (E) (A)	<i>Aspidozelis tigris</i>
Lagartija espinosa del desierto	<i>Sceloporus magister</i>
Cachora arenera (A)	<i>Callisaurus draconoides</i>
Chicotera	<i>Masticophis flagellum</i>

A= Amenazada, E= endémica, N= nativa. Elaboración propia con base en NaturaLista, (2017)

Tabla 12. Especies de mamíferos identificadas en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.

Nombre común	Nombre científico
Ardillón cola redonda (juancito)	<i>Xerospermophilus tereticaudus</i>
Rata almizclera (A)	<i>Ondatra zibethicus</i>
Conejo del desierto	<i>Sylvilagus audubonii</i>
Liebre cola negra (N)	<i>Lepus californicus</i>
Ardillón de California	<i>Otospermophilus beecheyi</i>

A= Amenazada, N= nativa. Elaboración propia con base en NaturaLista, (2017).

Tabla 13. Especies de aves identificadas en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.

Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico
Pelícano blanco americano	<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	Garza ganadera (IN)	<i>Bubulcus ibis</i>
Tecolote llanero	<i>Athene cunicularia</i>	Gaviota pico anillado	<i>Larus delawarensis</i>
Garza morena	<i>Ardea herodias</i>	Playero diminuto	<i>Calidris minutilla</i>
Pato norteño	<i>Anas platyrhynchos</i>	Charrán de Foster	<i>Sterna forsteri</i>
Baloncillo	<i>Auriparus flaviceps</i>	Rascador enmascarado	<i>Melospiza aberti</i>
Cormorán orejón	<i>Phalacrocorax auritus</i>	Chipe amarillo	<i>Setophaga petechia México</i>
Garcita verde	<i>Butorides virescens</i>	Gavilán rastrero	<i>Circus hudsonius</i>
Garza blanca	<i>Ardea alba</i>	Cernícalo americano (N)	<i>Falco sparverius</i>
Zambullidor pico grueso	<i>Podilymbus podiceps</i>	Avoceta americana (N)	<i>Recurvirostra americana</i>
Garza nocturna corona negra	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Cerceta alas azules	<i>Spatula discors</i>
Gallineta frente roja	<i>Gallinula galeata</i>	Pinzón mexicano	<i>Haemorhous mexicanus</i>
Chipe rabadilla amarilla	<i>Setophaga coronata</i>	Perlita azul gris	<i>Poliophtila caerulea</i>
Pelícano café	<i>Pelecanus occidentalis</i>	Cuervo común	<i>Corvus corax</i>

Chorlo tildío	<i>Charadrius vociferus</i>	Papamoscas llanero	<i>Sayornis saya</i>
Gorrión doméstico (IN)	<i>Passer domesticus</i>	Matraca del desierto (N)	<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>
Monjita americana (N)	<i>Himantopus mexicanus</i>	Tordo cabeza café	<i>Molothrus ater</i>
Gallareta americana	<i>Fulica americana</i>	Tordo cabeza amarilla	<i>Xanthocephalus xanthocephalus</i>
Papamoscas negro	<i>Sayornis nigricans</i>	Correcaminos norteño	<i>Geococcyx californianus</i>
Garza dedos dorados	<i>Egretta thula</i>	Playero occidental	<i>Calidris mauri</i>
Pato tepalcate	<i>Oxyura jamaicensis</i>	Aguililla aura (PE) (N)	<i>Buteo albonotatus</i>
Charrán del Caspio	<i>Hydroprogne caspia</i>	Aguililla cola roja	<i>Buteo jamaicensis</i>
Zanate mayor (N)	<i>Quiscalus mexicanus</i>	Gorrión de Brewer	<i>Spizella breweri</i>
Perlita del desierto	<i>Polioptila melanura</i>	Golondrina bicolor	<i>Tachycineta bicolor</i>
Pato cucharón norteño	<i>Spatula clypeata</i>	Papamoscas del oeste	<i>Contopus sordidulus</i>
Paloma turca de collar (IN)	<i>Streptopelia decaocto</i>	Tirano pálido	<i>Tyrannus verticalis</i>
Cormorán neotropical	<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	Chipe negro gris	<i>Setophaga nigrescens</i>
Avetoro menor (PE)	<i>Ixobrychus exilis</i>	Chipe de Townsend	<i>Setophaga townsendi</i>
Cerceta canela	<i>Spatula cyanoptera</i>	Pato friso	<i>Mareca strepera</i>
Tordo sargento	<i>Agelaius phoeniceus</i>	Colibrí cabeza violeta	<i>Calypte costae</i>
Capulínero negro (N)	<i>Phainopepla nitens</i>	Estornino pinto (IN)	<i>Sturnus vulgaris</i>
Ibis ojos rojos	<i>Plegadis chihi</i>	Papamoscas garganta ceniza	<i>Myiarchus cinerascens</i>
Mascarita común	<i>Geothlypis trichas</i>	Gaviota plateada	<i>Larus argentatus</i>
Chipe oliváceo	<i>Leiothlypis celata</i>	Polluela sora (N)	<i>Porzana carolina</i>
Golondrina alas aserradas	<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	Costurero pico corto	<i>Limnodromus griseus</i>
Verdugo americano (ER)	<i>Lanius ludovicianus</i>	Gaviota plumiza (PE)	<i>Larus heermanni</i>
Chotacabras menor	<i>Chordeiles acutipennis</i>	Halcón peregrino (PE) (N)	<i>Falco peregrinus</i>
Martín pescador norteño	<i>Megaceryle alcyon</i>	Halcón esmerejón (N)	<i>Falco columbarius</i>
Aguila pescadora	<i>Pandion haliaetus</i>	Garza rojiza (PE)	<i>Egretta rufescens</i>
Huilota común	<i>Zenaidura macroura</i>	Gavilán de Cooper (PE) (N)	<i>Accipiter cooperii</i>
Colibrí cabeza roja	<i>Calypte anna</i>	Ganso canadiense mayor	<i>Branta canadensis</i>
Zopilote aura (N)	<i>Cathartes aura</i>	Saltapared cola larga	<i>Thryomanes bewickii</i>
Playero alzacolita	<i>Actitis macularius</i>	Piranga capucha roja	<i>Piranga ludoviciana</i>
Codorniz de Gambel	<i>Callipepla gambelii</i>	Zacatonero garganta negra	<i>Amphispiza bilineata</i>
Achichilique pico amarillo	<i>Aechmophorus occidentalis</i>	Colorín pecho canela	<i>Passerina amoena</i>
Gorrión corona blanca	<i>Zonotrichia leucophrys</i>	Picogordo tigrillo	<i>Pheucticus melanocephalus</i>

Golondrina risquera	<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>	Golondrina ribereña	<i>Riparia riparia</i>
Cenzontle norteño	<i>Mimus polyglottos</i>	Cuicacoche chato	<i>Oreoscoptes montanus</i>
Paloma doméstica (IN)	<i>Columba livia</i>	Papamoscas amarillo	<i>Empidonax difficilis</i>
Chipe corona negra	<i>Cardellina pusilla</i>	Papamoscas saucero	<i>Empidonax traillii</i>
Zambullidor orejón	<i>Podiceps nigricollis</i>	Vireo gorjeador	<i>Vireo gilvus</i>
Ganso común (IN)	<i>Anser anser</i>	Perico monje argentino (IN)	<i>Myiopsitta monachus</i>
Saltapared pantanero	<i>Cistothorus palustris</i>	Charrán pico grueso	<i>Gelochelidon nilotica</i>
Costurero pico largo	<i>Limnodromus scolopaceus</i>	Chipe cabeza gris	<i>Leiothlypis ruficapilla</i>
Gaviota californiana	<i>Larus californicus</i>	Chipe híbrido	<i>Setophaga townsendi X occidentalis</i>

PE = Protección especial, ER = En riesgo, N= Nativa, IN = Introducida. Elaboración propia con base en NaturaLista, (2017).

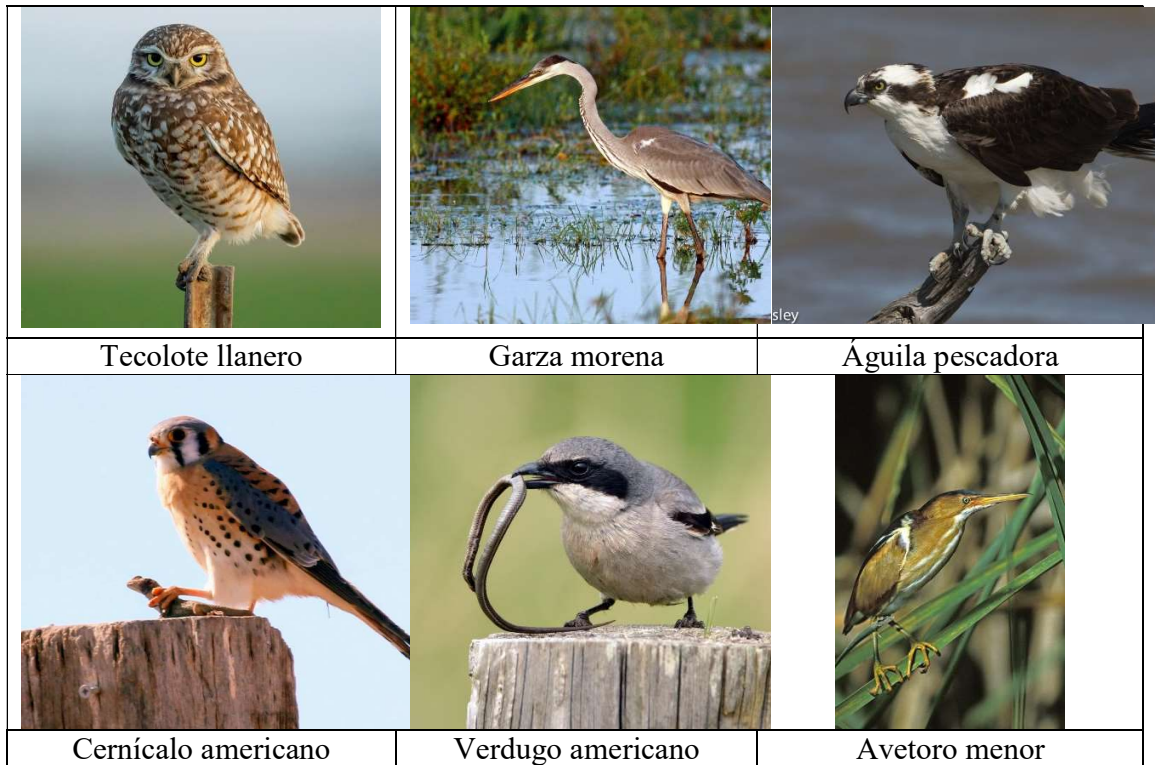


Figura 11. Algunas de las especies de aves que habitan el sistema lagunar México-Xochimilco Campestre. Fuente: elaboración propia.

4.2 Crecimiento urbano.

No obstante que el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre forma parte del SHRDR, la zona sur de la ciudad donde se ubica presenta el mayor crecimiento urbano desde 1990. Algunos de los nuevos fraccionamientos se habitaron en un periodo de tan solo siete años a una tasa de crecimiento anual del 61%. La tendencia tuvo como resultado la incorporación al desarrollo urbano de una mayor superficie a la proyectada, generando la expansión urbana en esa zona de la ciudad y por lo tanto, la reducción de las áreas de inundación del sistema lagunar (Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Mexicali. IMIP, 2007) (Figura 12). Es por esto que se hace imprescindible considerar al sistema lagunar en la planeación urbana de la ciudad, no solo por ser albergue de una gran biodiversidad, sino por representar una fuente de agua necesaria para el mantenimiento hídrico de una ciudad desértica como Mexicali.

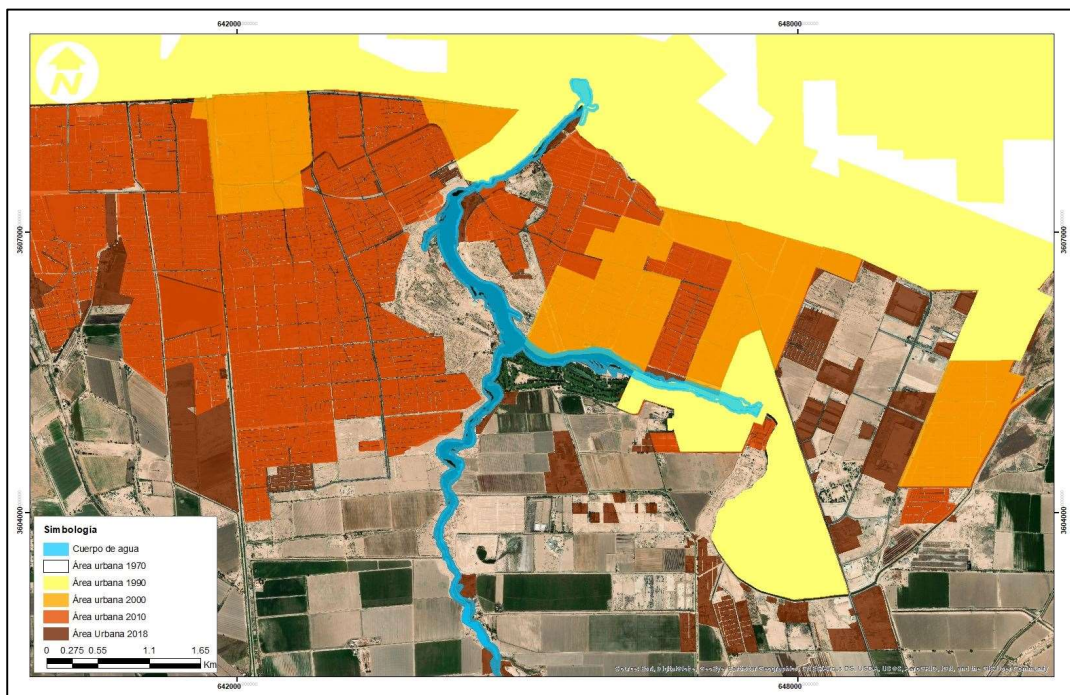


Figura 12. Crecimiento de la mancha urbana de Mexicali alrededor del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre, desde 1970 hasta 2018. Fuente: Elaboración propia. Con base en ArcGis 10.2.

Los cambios de uso del suelo tanto en cobertura como en uso, están asociados a dos tipos de causas: las causas directas y las causas subyacentes. En el primer tipo se catalogan las debidas a la expansión urbana y agropecuaria, la extracción de maderas, la construcción de infraestructuras viales (puentes, carreteras) y la extracción de combustibles. Mientras que entre las causas subyacentes se encuentran las que se presentan fuera de la zona donde se aprecian los cambios en la cobertura del suelo (huracanes, tormentas, sequías, cambio climático), ya que operan en escalas geográficas amplias (Galicia-Sarmiento et al., 2007).

El cambio en el uso de suelo durante el periodo de mayor crecimiento urbano en la zona sur de la ciudad donde se ubica el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre, se presenta en la Figura 13:

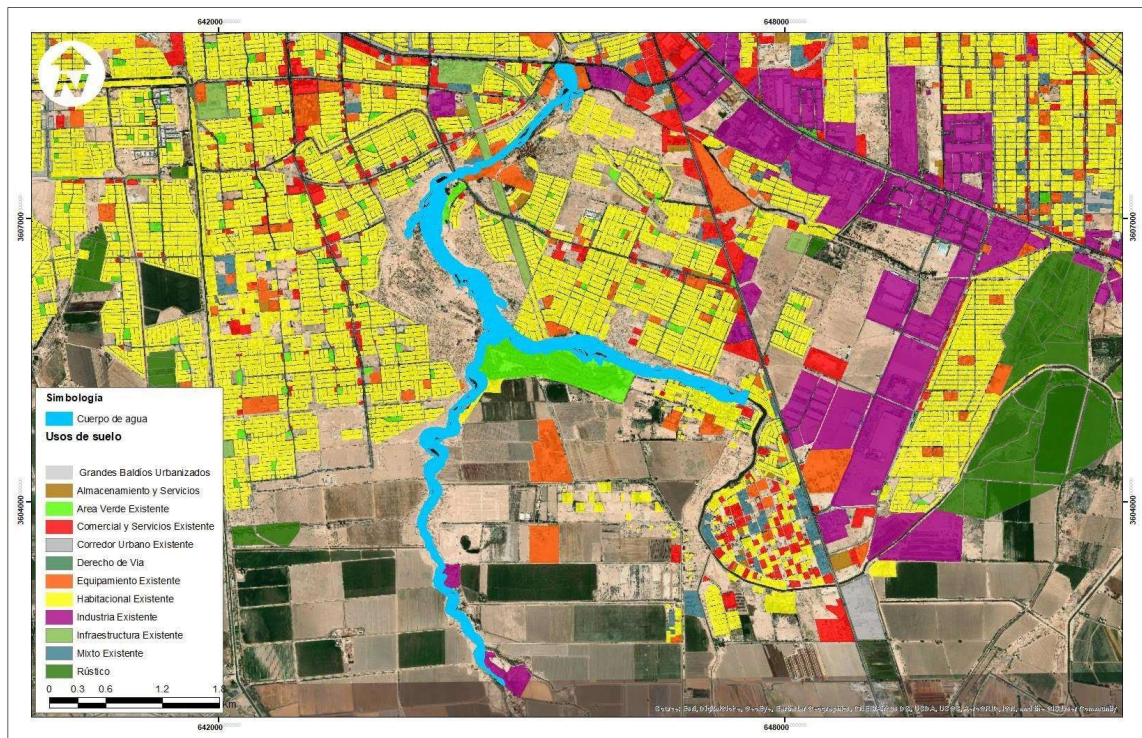


Figura 13. Cambios en el uso de suelo alrededor del sistema lagunar de 2014 a 2018. Fuente: Elaboración propia. Con base en ArcGis 10.2

4.3 Cambios morfológicos (área del espejo de agua) del sistema lagunar.

El Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) es el sistema institucional de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que es la encargada de integrar y publicar la información estadística y geográfica del sector hídrico. Está organizado en 42 tableros temáticos organizados en tres ejes: ambiental (15), económico (13) y social (14). En el eje ambiental aparecen los temas: acuíferos, agua renovable, calidad del agua, ciclo hidrológico, ciclones tropicales, cuencas, humedales y áreas naturales protegidas (ANP), lagos principales, ordenamientos, playas limpias, precipitación, regiones hidrológicas, ríos principales, sequías, uso de suelo y vegetación. En la figura 14 se muestra el Sistema de Humedales Remanentes del Delta del Río Colorado (SHRDRC) donde se integra el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre, donde los últimos datos del área publicados sobre la superficie total del espejo de agua del sistema lagunar era 73.86 hectáreas.

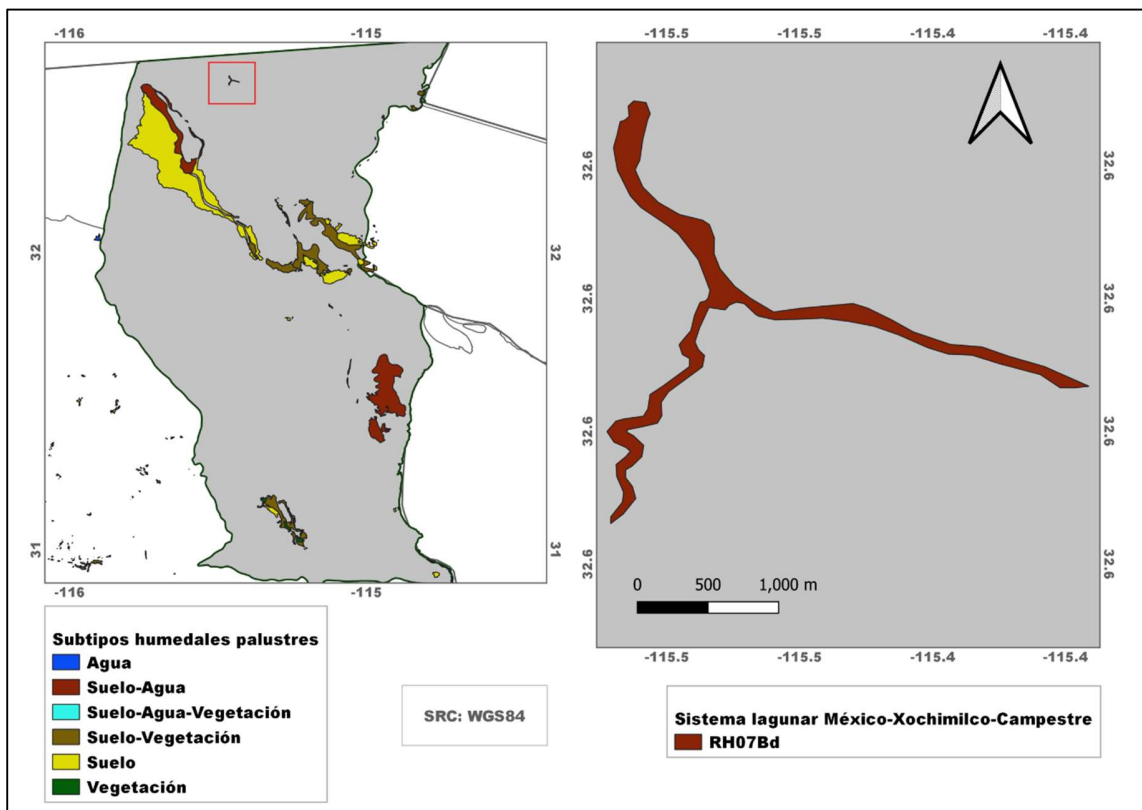


Figura 14. Superficie de espejo de agua del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre en 2016. Fuente: elaboración propia. Con base en (CONAGUA, 2016).

En la figura 15 se muestra la superficie del espejo de agua calculado utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre, donde según los cálculos realizados el área total del sistema lagunar en 2020 era de 51.99 hectáreas.

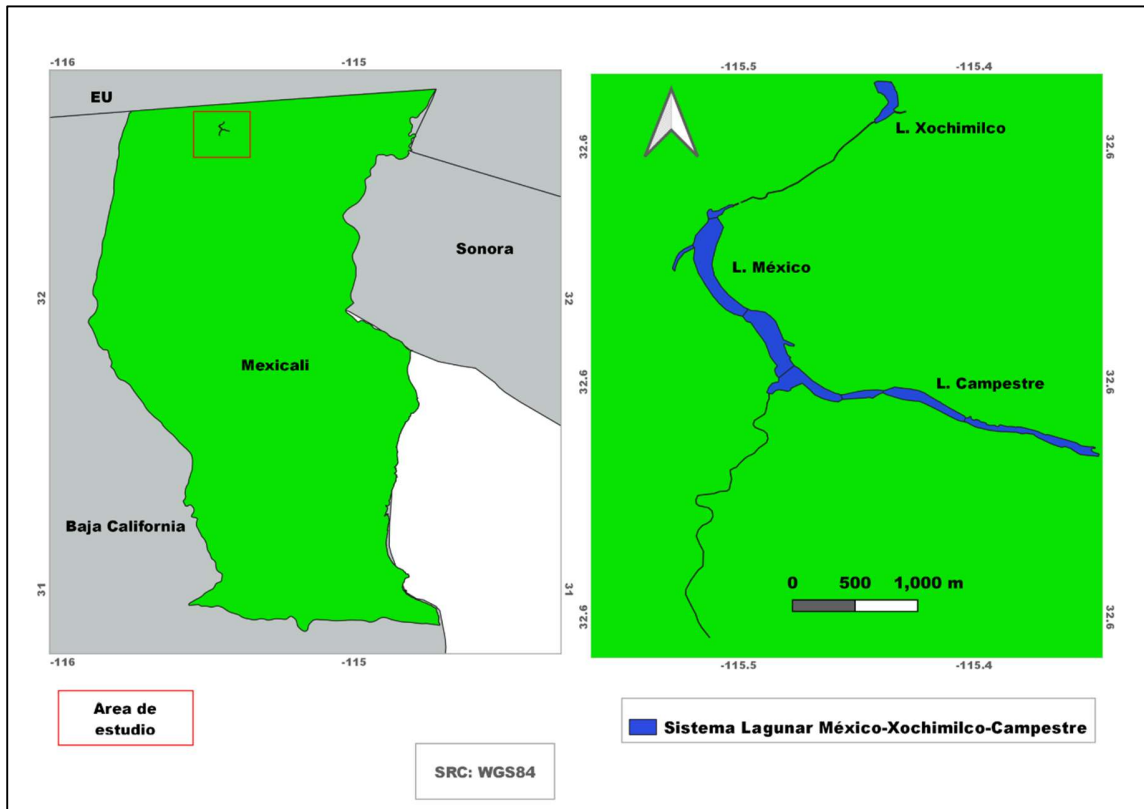


Figura 15. Superficie del espejo de agua del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre en 2020. Fuente: elaboración propia.

4.4 Método RAWES.

Este método está dividido en tres etapas principales: 1) preparación, 2) evaluación sobre el terreno y 3) gestión de la información. Las etapas y los pasos a desarrollar en cada etapa de la metodología se muestran en la siguiente figura (Figura 16):

Etapa 1. Preparación	Etapa 2. Evaluación sobre el terreno	Etapa 3. Gestión de la información
-Personal -Delimitación área del humedal -Materiales necesarios	-Observación -Conocimientos indígenas y locales -Discusiones -Participación de los interesados -Documentar la información	-Verificación de datos -Introducción (manejo) de datos -Resumir los pormenores

Figura 16. Etapas y pasos de la Metodología RAWES. Fuente: Elaboración propia con base en McInnes & Everard, (2017).

4.4.1 Etapa 1. Preparación.

En la Etapa 1. Preparación, se delimitó el área del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre, estableciendo cuatro áreas homogéneas en hábitat para evaluar los servicios: Laguna México, Laguna Campestre (detrás del Instituto de Veterinaria de la UABC), Laguna Campestre (fraccionamiento) y Laguna Xochimilco. Participaron tres evaluadores con conocimiento previo sobre el sistema lagunar y se reunió el material necesario para realizar la evaluación: fichas de evaluación, lápices, plumas, portapapeles, cámara fotográfica, GPS y equipo de protección. Los sitios de evaluación se muestran en la siguiente figura (Figura 17):



Figura 17. Localización de los sitios de evaluación en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre. Fuente: elaboración propia. Con base en ArcGis 10.2.

Donde: (1) Laguna Xochimilco, (2) Laguna México, (3) Laguna Campestre fraccionamiento y (4) Laguna Campestre detrás del IICV.

4.4.2 Etapa 2. Evaluación sobre el terreno.

En la Etapa 2. Evaluación sobre el terreno, se realizó una reunión previa con los evaluadores a fin que conocieran el instrumento que se utilizaría para evaluar los servicios (Anexo 1). Posteriormente, se realizó en cada sitio la observación y el registro de los servicios usando una serie de preguntas guía sobre el reconocimiento de los servicios, el contexto donde se ubica cada sitio, los beneficios que proporciona el humedal, la escala en la que se ubican esos beneficios, así como la escala en que se ubican esos beneficios (Anexo 2) y finalmente se documentó fotográficamente los servicios reales del sistema lagunar. En cada sitio de evaluación se tomó un tiempo para discutir los servicios prestados por el sistema lagunar entre los evaluadores. Posteriormente, se realizaron pequeñas reuniones con algunos habitantes de las comunidades alrededor del sistema lagunar y con integrantes del comité

ciudadano “Salvemos a las Lagunas” para recopilar su conocimiento sobre los servicios ecosistémicos prestados por el sistema lagunar. Para realizar la evaluación de los humedales se usó la escala propuesta por Defra, (2007) que se muestra a continuación en el Tabla 14:

Tabla 14. Escala usada para evaluar los servicios ecosistémicos de los humedales in situ.

Puntaje	Evaluación del servicio ecosistémico in situ
++	Contribución significativa potencial positiva
+	Contribución potencial positiva
0	Contribución despreciable
-	Contribución potencial negativa
--	Contribución significativa potencial negativa
?	Vacíos en la evidencia

Fuente: Defra, (2007).

4.4.3 Etapa 3. Gestión de la información.

Durante la Etapa 3. Gestión de la información, se verificó al finalizar cada recorrido que los registros estuvieran completamente llenos, que los datos geo-referenciados de los sitios evaluados fueran los correctos y que existiera evidencia fotográfica de todos los sitios de evaluación. Posteriormente se vaciaron los registros en una base de datos en Excel y se registraron todas las incidencias, problemas y pormenores hallados por los evaluadores durante el proceso.

4.4.4 Análisis de datos.

Finalizada la evaluación de los servicios ecosistémicos del sistema lagunar, se convirtieron los valores obtenidos en cada servicio en una escala numérica ordinal. Se usó la escala propuesta por McInnes & Everard, (2017) que se muestra en el Tabla 15:

Tabla 15. Escala numérica para convertir los valores obtenidos en la evaluación realizada en los humedales a una escala numérica ordinal.

Valor obtenido en la evaluación in situ	Categorías
++	Asignar 5
+	Asignar 4
0	Asignar 3
-	Asignar 2
--	Asignar 1
?	Asignar 0

Fuente: McInnes & Everard, (2017)

Posteriormente se realizó un análisis estadístico de X^2 para determinar la relación entre los sitios evaluados y los servicios ecosistémicos ofrecidos. Este análisis se hizo para cada categoría de servicios con un nivel de error del 5%

Finalmente, se ponderaron cada uno de los valores convertidos con la anterior escala usando una escala de beneficios definida previamente. La escala inicial de beneficios propuesta por la COP13 es de tres puntos, pero puede modificarse dependiendo de si la evaluación considera una región metropolitana, un condado o municipio, o una cuenca hidrológica, o si los evaluadores consideran su propia escala de beneficios (COP13, 2018). En esta investigación se usó la escala de beneficios propuesta por McInnes & Everard, (2017) de cinco puntos, ya que se considera es más fácil de usar y extrapolar a la escala original de la evaluación de servicios usada en la metodología RAWES (Tabla 16).

Tabla 16. Escala de beneficios.

Clasificación	Descripción
Beneficios locales	Aquellos experimentados por individuos, hogares o comunidades que viven y trabajan en las inmediaciones del humedal.
Beneficios de la ciudad	Los que se entregan a individuos, hogares o comunidades que viven y trabajan en la ciudad de Mexicali.
Beneficios regionales	Aquellos entregados a individuos, hogares o comunidades que viven y trabajan en la cuenca más amplia del humedal.
Beneficios nacionales	Los individuos, hogares o comunidades que viven en las áreas que se encuentran más allá de la zona de captación más amplia pero dentro de México.
Beneficios globales	Aquellos que se extienden más allá de las fronteras nacionales.

Fuente: Elaboración propia. Con base en (McInnes & Everard, 2017).

4.5 Estudio del paisaje.

Se utilizó una adaptación de la metodología empleada por la Generalitat Valenciana (Muñoz-Criado, 2012) para los sistemas de humedales en zonas áridas, ya que permite valorar los paisajes relevantes con el fin de definir las medidas de protección, gestión y ordenación para preservar un paisaje. Las fases de la metodología se muestran en la siguiente figura (Figura 18):

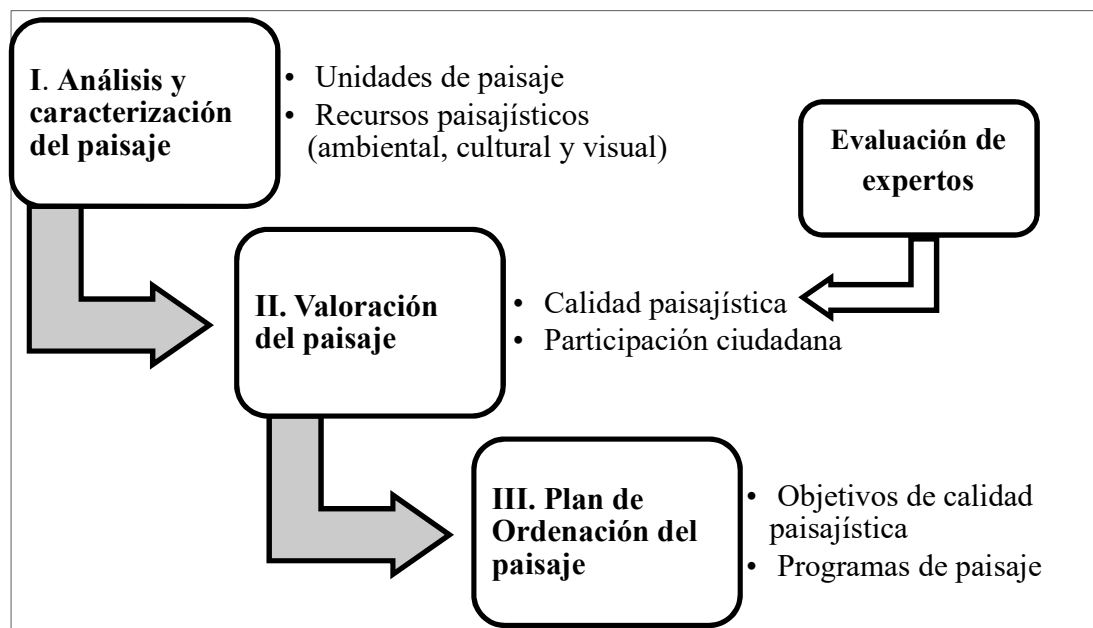


Figura 18. Fases de la metodología aplicada. Fuente: Elaboración propia. Con base en: de la Fuente (2015) y Muñoz-Criado (2012).

4.5.1 Fase I. Análisis y caracterización del paisaje.

Se establecieron las unidades de paisaje usando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para lo cual se realizó un procedimiento de tratamiento de imagen utilizando ArcGis 10.2, a partir de una imagen Landsat en falso color de la zona de estudio y posteriormente se hizo una clasificación supervisada para delimitar las unidades de paisaje. Más adelante se describieron las unidades de paisaje y finalmente se caracterizaron usando las cualidades del territorio (agua, suelo y vegetación), los recursos paisajísticos ambientales, culturales y visuales, así como los elementos que degradan el paisaje.

La utilización de imágenes Landsat tiene distintas ventajas frente a otros sensores remotos. Se trata de sensores ampliamente utilizados por distintas áreas del conocimiento. Sin embargo, solo desde hace pocos años sus datos están disponibles de forma libre para toda la comunidad científica (Martín-González et al., 2007). En 2018 todavía se tenía que pagar por alguna imagen de interés; además de considerar los siguientes aspectos: la existencia de imágenes disponibles para el área de estudio, el porcentaje de cobertura de nubes en el momento de la toma de la imagen y las fechas específicas de adquisición de las mismas.

Las imágenes de falso color o RGB (Red, Green and Blue) consisten en la combinación de tres bandas de información para formar una imagen en color (Martín-González et al., 2007). Esta técnica suele emplearse para resaltar vegetación sana, áreas abandonadas, terrenos baldíos o caminos.

4.5.2 Fase II. Valoración del paisaje.

Se evaluó la calidad paisajística de las unidades de paisaje a través de expertos provenientes tanto de la academia como de organizaciones ambientales, que han trabajado e investigado aspectos ecológicos así como las dinámicas sociales que se desarrollan en torno al sistema lagunar. En esta fase se realizaron el análisis FODA y la construcción de distintas matrices a partir de la matriz FODA como la Matriz de Evaluación de los Factores Internos (MEFI), la Matriz de Evaluación de los Factores Externos (MEFE), la Matriz de las Amenazas, Oportunidades, Debilidades y Fortalezas (MAFE) y la Matriz de Posición Estratégica y Evaluación de Acción (MPEEA), las cuales permitieron valorar las estrategias de acción producidas en el mismo FODA.

Los pasos para construir la matriz MEFI fueron los siguientes:

- a) Enlistar las fortalezas y debilidades del sistema lagunar.
- b) Asignar un peso entre 0.0 (no importante) hasta 1.0 (muy importante) a cada factor. El peso otorgado expresa la importancia relativa del mismo, y el total de todos los pesos en su conjunto debe sumar 1.0

- c) Asignar una calificación entre 1 y 4, donde 1 es irrelevante y 4 es muy importante.
- d) Multiplicar el peso de cada factor por su calificación correspondiente para obtener el peso ponderado.
- e) Sumar los pesos ponderados para obtener el total del sistema lagunar

Los pasos para realizar la matriz MEFE fueron los siguientes:

- a) Enlistar de las oportunidades y amenazas del sistema lagunar.
- b) Asignar un peso relativo en un rango de cero (irrelevante) a 1.0 (muy importante). El peso otorgado manifiesta la importancia de cada factor, considerando que las oportunidades deben tener más peso que las amenazas. La suma total debe ser 1.0.
- c) Calificar de 1 a 4 cada uno de los factores, donde 4 es el valor máximo y 1 es el valor mínimo.
- d) Multiplicar el peso de cada factor por su calificación para obtener un peso ponderado.
- e) Sumar los pesos ponderados para obtener el total del sistema lagunar.

Los pasos a seguir para construir la matriz MAFE para obtener las estrategias mejor evaluadas fueron los siguientes:

- a) Enlistar las oportunidades, amenazas, fortalezas y debilidades con mayor puntaje de las anteriores matrices.
- b) Entrecruzar las fortalezas y las oportunidades con el fin de obtener las estrategias FO.
- c) Entrecruzar las debilidades y las oportunidades con el fin de obtener las estrategias DO.
- d) Entrecruzar las fortalezas y las amenazas con el fin de obtener las estrategias FA.
- e) Entrecruzar las debilidades y las amenazas con el fin de obtener las estrategias DA.

Para realizar la Matriz de Posición Estratégica y Evaluación de Acción (MPEEA) se siguieron los siguientes pasos:

- a) Enlistar las Amenazas y las Oportunidades como el eje “x”.
- b) Enlistar las Debilidades y las Fortalezas como el eje “y”.
- c) Asignar un peso relativo en un rango de cero (irrelevante) a 100 (muy importante) a cada factor enlistado en el eje “x”. El peso otorgado manifiesta la importancia de cada factor, considerando que las oportunidades deben tener más peso que las amenazas. La suma total debe ser 100.
- d) Asignar un peso entre cero (no importante) hasta 100 (muy importante) a cada factor enlistado en el eje “y”. El peso otorgado expresa la importancia relativa del mismo factor, y el total de todos los pesos en su conjunto deben sumar 100.
- e) Evaluar cada eje con los valores de acuerdo al peso de cada factor de acuerdo a la Tabla 17.
- f) Calcular el promedio de los valores para cada integrante del eje “x”.
- g) Calcular el promedio de las valores para cada integrante del eje “y”.
- h) Sumar promedios del eje “x” para obtener un solo valor para la coordenada “x”.
- i) Sumar promedios del eje “y” para obtener un solo valor para la coordenada “y”.
- j) Graficar.

Tabla 17. Valores de cada eje para evaluar los ejes de la Matriz de Posición Estratégica y Evaluación de Acción (MPEEA).

Eje x		Eje y	
Factores Externos		Factores Internos	
Oportunidades	Amenazas	Fortalezas	Debilidades
+6 mayor	-6 mayor	+6 mayor	-6 mayor
+1 menor	-1 menor	+1 menor	-1 menor

Fuente: elaboración propia. Con base en (Ponce, 2006)

También se evaluó la calidad visual de las unidades de paisaje utilizando la metodología BLM (Bureau of Land Managment 1980). Se trata de un método indirecto de evaluación de las características visuales básicas de los componentes del paisaje. Se le asigna un valor a cada componente según los criterios de valoración (Aguilera-Fernández et al., 2016).

Por último, se aplicaron 114 encuestas para conocer la opinión de los ciudadanos sobre la calidad visual de las unidades de paisaje; para lo cual se consideró una población de 814,668 habitantes de la ciudad de Mexicali mayores de 18 años, según datos del último censo de población 2020 (Instituto Nacional de Geografía e Informática, 2021).

Se usó la siguiente fórmula para calcular el tamaño mínimo de muestra para una población conocida:

$$n = \frac{(N * Z^2 * p * q)}{(N - 1) * e^2 + p * q}$$

Donde:

N = población 814,668.

Z = 1.96 para un nivel de confianza del 95%.

p = 0.92 proporción de personas que dijeron conocer las lagunas (encuesta previa).

q = 0.08 proporción de personas que dijeron no conocer las lagunas (encuesta previa).

e = 0.05 error muestral.

4.5.3 Fase III. Plan de Ordenación del paisaje

Por último, se establecieron los objetivos de la calidad paisajística y los programas de paisaje de las unidades establecidas para el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los humedales prestan un sinnúmero de servicios ecosistémicos al hombre (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005). A pesar de la importancia reconocida de estos ecosistemas, sus valores son ignorados completamente o subestimados, y no son considerados en la toma de decisiones (McInnes & Everard, 2017), lo que resulta en la pérdida y degradación continua de los humedales y sus servicios (De Groot et al., 2007).

Una forma de evitar esta pérdida de servicios en los humedales es identificar, valorar y evaluar adecuadamente los servicios ecosistémicos que brindan estos ecosistemas, así como integrarlos en la planeación y en la toma de decisiones de las ciudades (Kumar et al., 2017).

Para lo cual existen innumerables metodologías disponibles que permiten identificar, caracterizar, cuantificar, modelar, mapear y/o evaluar los servicios de los ecosistemas (Bagstad et al., 2013). Sin embargo, estas metodologías difieren en cuanto a su aplicación y alcance, ya que la mayoría requieren de altos costos en tiempo, recursos, datos disponibles y dinero lo que hace difícil su aplicación a una escala mayor (Bagstad et al., 2013). Otra de las desventajas de estas metodologías es la falta de una visión sistémica para evaluar el conjunto de los servicios ecosistémicos prestados por los humedales, debido a que tienden a subestimar los beneficios totales al reducir el número de servicios evaluados sólo a los que son visibles o de los que se tienen datos, o limitarse a evaluar los servicios referidos a la disciplina de estudio (ten Brink et al., 2013).

Todo esto sin considerar que muchas de estas metodologías buscan una valoración económica con el fin de proporcionar a los tomadores de decisión y profesionales de conservación una herramienta de solución inmediata. Además, varias de estas metodologías de enfoque económico se basan en diversas suposiciones para calcular los valores monetarios de los servicios y éstos valores son realizados para un espacio y un periodo de tiempo específicos, por lo que se consideran enfoques simplificados (McInnes & Everard, 2017).

Desde el trabajo de Costanza y colaboradores, (1997) estas limitaciones eran patentes en las metodologías de enfoque económico. Por lo tanto, la elaboración de procedimientos

para valorar las funciones y los servicios de los humedales debe tener un enfoque dirigido, jerárquico y pragmático y de preferencia, debe contar con la participación en su puesta en marcha de las comunidades locales, así como ser rápida y fácil de implementar y suficiente para la obtención de información importante.

Se observa en Tabla 18 que el servicio ecosistémico mejor evaluado, con (++) en el mayor número de sitios de muestreo (3 sitios) fue ciclo de nutrientes; mientras que los servicios ecosistémicos de regulación de la calidad del aire, regulación del clima local, regulación de los peligros de las inundaciones y regulación del fuego fueron evaluados con (+) en los cuatro sitios muestreados. Sin embargo, cabe destacar que el único servicio que fue evaluado como contribución negativa, tanto significativa (--) como potencial (-) fue el servicio de eliminación de residuos, con tres menciones para (-) y una para (--). Cabe señalar asimismo que los únicos servicios ecosistémicos de los que no se tienen evidencias de su presencia en los cuatro sitios de muestreo fueron la regulación de enfermedades humanas y regulación de enfermedades en animales.

Tabla 18. Evaluación de los servicios ecosistémicos in situ en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.

	Servicio ecosistémico	n	++	+	0	-	--	¿?
Servicios de suministro	Agua dulce	4			4			
	Alimentos	4		3	1			
	Combustible	4		2	2			
	Fibras	4		1	3			
	Recursos genéticos	4		1	3			
	Medicinas o productos farmacéuticos naturales	4			4			
	Recursos ornamentales	4			4			
	Extracción de arcilla, minerales, áridos	4		1	2	1		
	Eliminación de residuos	4				3	1	
	Explotación de energía eólica e hidráulica	4		1	3			
	Servicios de regulación	Regulación de la calidad del aire	4		4			
Regulación del clima local		4		4				
Regulación del clima mundial		4			4			
Regulación hídrica		4	1	3				
Regulación de los peligros de las inundaciones		4		4				
Regulación de los peligros de las tormentas		4			3			1
Regulación de plagas		4		2	2			
Regulación de enfermedades humanas		4						4
Regulación de enfermedades animales		4						4
Regulación de la erosión		4	1	1	1	1		
Depuración del agua		4	1	3				

	Polinización	4		2	2			
	Regulación de la salinidad	4			3	1		
	Regulación del fuego	4		4				
	Amortiguación del ruido o barrera visual	4		2	2			
Servicios culturales	Patrimonio cultural	4			4			
	Recreo y turismo	4		3	1			
	Valor estético	4	1	3				
	Valor espiritual y religioso	4			4			
	Valor como fuente de inspiración	4		3	1			
	Relaciones sociales	4	2	1		1		
	Educación e investigación	4	2	2				
Servicios de soporte	Formación de suelos	4	1	3				
	Producción primaria	4	1	3				
	Ciclo de nutrientes	4	3	1				
	Reciclado del agua	4	2	2				
	Provisión del hábitat	4	3	1				

Donde: (++) servicio con contribución significativa potencial positiva, (+) servicio con contribución potencial positiva, (0) servicio con contribución despreciable, (-) servicio con contribución potencial negativa, (--) servicio con contribución significativa potencial negativa y (?) servicio con vacío en la evidencia. Fuente: Elaboración propia, con base en (McInnes & Everard, 2017).

En el Tabla 19 se presentan los valores ponderados para cada sitio evaluado, donde se muestra que los servicios de suministro con mayor puntaje fueron para la Laguna México (LM) los servicios de relaciones sociales, de educación e investigación, que son servicios culturales, y ciclo de nutrientes, reciclado del agua y provisión del hábitat en cuanto a servicios de soporte. Para la Laguna Xochimilco (LX) los servicios mejor evaluados fueron únicamente ciclo de nutrientes y reciclado del agua que son servicios de soporte. Para la Laguna Campestre, detrás del IICV (LC1) solamente los servicios culturales de relaciones sociales y de educación e investigación tuvieron los valores más altos. Por último para la Laguna Campestre en su parte cercana al fraccionamiento (LC2) la regulación hídrica de erosión, y depuración del agua como servicios de regulación, así como valor estético como servicio cultural y formación de suelos, producción primaria, ciclo de nutrientes y provisión del hábitat como servicios de soporte fueron los servicios ecosistémicos mejor promediados.

Mientras que los servicios ecosistémicos de los que no se tiene conocimiento que exista algún aporte en el sistema lagunar y que por lo tanto tuvieron el valor ponderado menor fueron la regulación de enfermedades humanas y animales en todos los sitios

evaluados, así como la regulación de los peligros de tormentas para la Laguna Campestre detrás del IICV (LC1).

Tabla 19. Valores ponderados de los servicios ecosistémicos en cada uno de los sitios evaluados en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.

	Servicio ecosistémico	LM	LX	LC 1	LC 2
Servicios de Suministro	Agua dulce	3	3	3	3
	Alimentos	4	3	4	4
	Combustible	3	4	3	4
	Fibras	3	3	3	4
	Recursos genéticos	4	3	3	3
	Medicinas o productos farmacéuticos naturales	3	3	3	3
	Recursos ornamentales	3	3	3	3
	Extracción de arcilla, minerales, áridos	2	3	3	4
	Eliminación de residuos	2	2	2	1
	Explotación de energía eólica e hidráulica	4	3	3	3
Servicios de Regulación	Regulación de la calidad del aire	4	4	4	4
	Regulación del clima local	4	4	4	4
	Regulación del clima mundial	3	3	3	3
	Regulación hídrica	4	4	4	5
	Regulación de los peligros de las inundaciones	4	4	4	4
	Regulación de los peligros de las tormentas	3	3	0	3
	Regulación de plagas	4	4	3	3
	Regulación de enfermedades humanas	0	0	0	0
	Regulación de enfermedades animales	0	0	0	0
	Regulación de la erosión	3	4	2	5
	Depuración del agua	4	4	4	5
	Polinización	4	3	4	3
	Regulación de la salinidad	3	3	2	3
	Regulación del fuego	4	4	4	4
Amortiguación del ruido o barrera visual	3	4	3	4	
Servicios Culturales	Patrimonio cultural	3	3	3	3
	Recreo y turismo	4	3	4	4
	Valor estético	4	4	4	5
	Valor espiritual y religioso	3	3	3	3
	Valor como fuente de inspiración	4	4	4	3
	Relaciones sociales	5	2	5	4
	Educación e investigación	5	4	5	4
Servicios de Soporte	Formación de suelos	4	4	4	5
	Producción primaria	4	4	4	5
	Ciclo de nutrientes	5	5	4	5
	Reciclado del agua	5	5	4	4
	Provisión del hábitat	5	4	4	5

Donde: LM = Laguna México, LX = Laguna Xochimilco, LC1 = Laguna Campestre (cerca del IICV), LC2 = Laguna Campestre (fraccionamiento). Fuente: Elaboración propia, con base en (McInnes & Everard, 2017)

Se realizaron pruebas de hipótesis para evaluar si existe alguna relación entre los sitios evaluados y los servicios prestados por el sistema lagunar, una por cada tipo de humedal. Los resultados se muestran en el Tabla siguiente (Tabla 20):

Tabla 2021. Resultados de las pruebas estadísticas.

Tipo de servicio	Valor X^2 calculado	Valor X^2 tablas	Resultado estadístico
De suministro	2.1534	40.113 con $\alpha = 0.05, 27gl$	$P > 0.05$
De regulación	34.162	55.8 con $\alpha = 0.05, 42gl$	$P > 0.05$
Culturales	1.752	28.869 con $\alpha = 0.05, 18gl$	$P > 0.05$
De apoyo	0.544	21.026 con $\alpha = 0.05, 12gl$	$P > 0.05$

Fuente: elaboración propia

Los servicios de suministro evaluados en los cuatro sitios del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre se presentan en la figura 19, donde los servicios con mayor ponderación en los cuatro sitios fueron: combustibles, agua dulce y alimentos; mientras que el servicio de menor ponderación fue eliminación de residuos para los cuatro sitios evaluados. Estos resultados concuerdan con lo expresado por los habitantes del sitio lagunar que pescan y obtienen leña como combustible para preparar sus alimentos; así como extraen agua dulce para realizar sus actividades cotidianas, así como lo mencionado por McInnes & Everard, (2017) para el humedal de Colombo en Sri Lanka y con lo expresado por Gardner & Finlayson, (2018) quienes establecen que los humedales continentales de marisma o pantano, como es el caso del sistema lagunar, tienen valores altos en los servicios de alimentos y combustible e intermedios en el servicio de agua dulce. Aunque estadísticamente no existieron diferencias entre los cuatro sitios evaluados en la prestación de los servicios de suministro (Tabla 20).

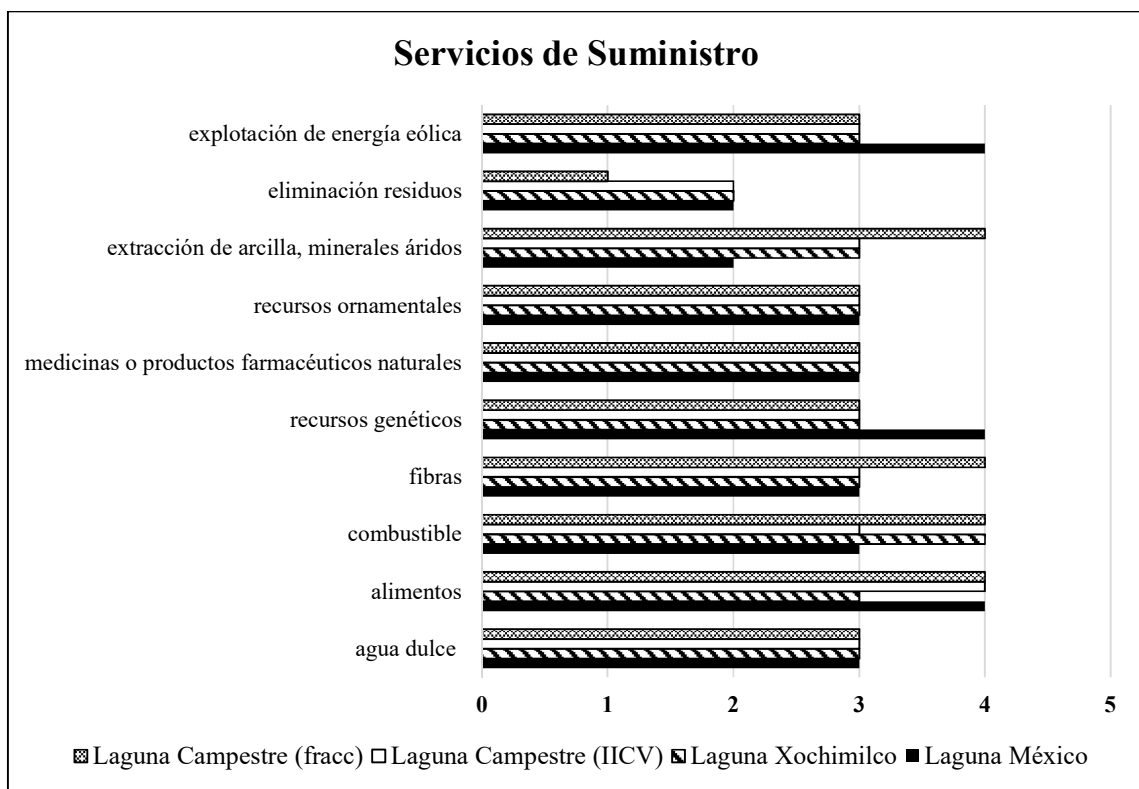


Figura 19. Servicios de suministro evaluados en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre. Fuente: Elaboración propia.

Los servicios de regulación evaluados en los cuatro sitios del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre se presentan en la figura 20, donde los servicios con mayor ponderación en los cuatro sitios fueron: depuración del agua, regulación de la erosión, regulación hídrica, regulación del clima local y la calidad del aire, regulación del peligro de inundaciones, regulación del fuego y polinización; mientras que los servicios que no se observaron en el sistema lagunar son regulación de enfermedades humanas y regulación de enfermedades animales, para los cuatro sitios. Aunque estadísticamente no existieron diferencias entre los cuatro sitios evaluados en la prestación de los servicios de regulación (Tabla 20). Estos resultados concuerdan con lo expresado por McInnes & Everard, (2017) para el humedal de Colombo en Sri Lanka y con lo expresado por Gardner & Finlayson, (2018) quienes establecen que los humedales de marisma o pantano, tienen valores altos en regulación del clima local, contaminación y regulación de riesgos, como inundaciones. En

el caso de la regulación de inundaciones, (Salazar-Briones, 2018) menciona que el sistema lagunar funciona como un vaso regulador del control de inundaciones del Río Nuevo.

Por su parte, Villanueva-Solís, (2015) menciona que existen sumideros de temperatura en la ciudad de Mexicali, donde la disminución de la temperatura ambiental puede ser de hasta 8°C con respecto a la temperatura promedio. Estos sumideros son principalmente zonas verdes, terrenos baldíos y áreas con agua. Asimismo, Corona & Rojas, (2008) mencionaron que la mala calidad del aire en Mexicali está relacionada con la existencia de un déficit en áreas verdes. En el sistema lagunar existe una mayor área de vegetación que en otras zonas de la ciudad.

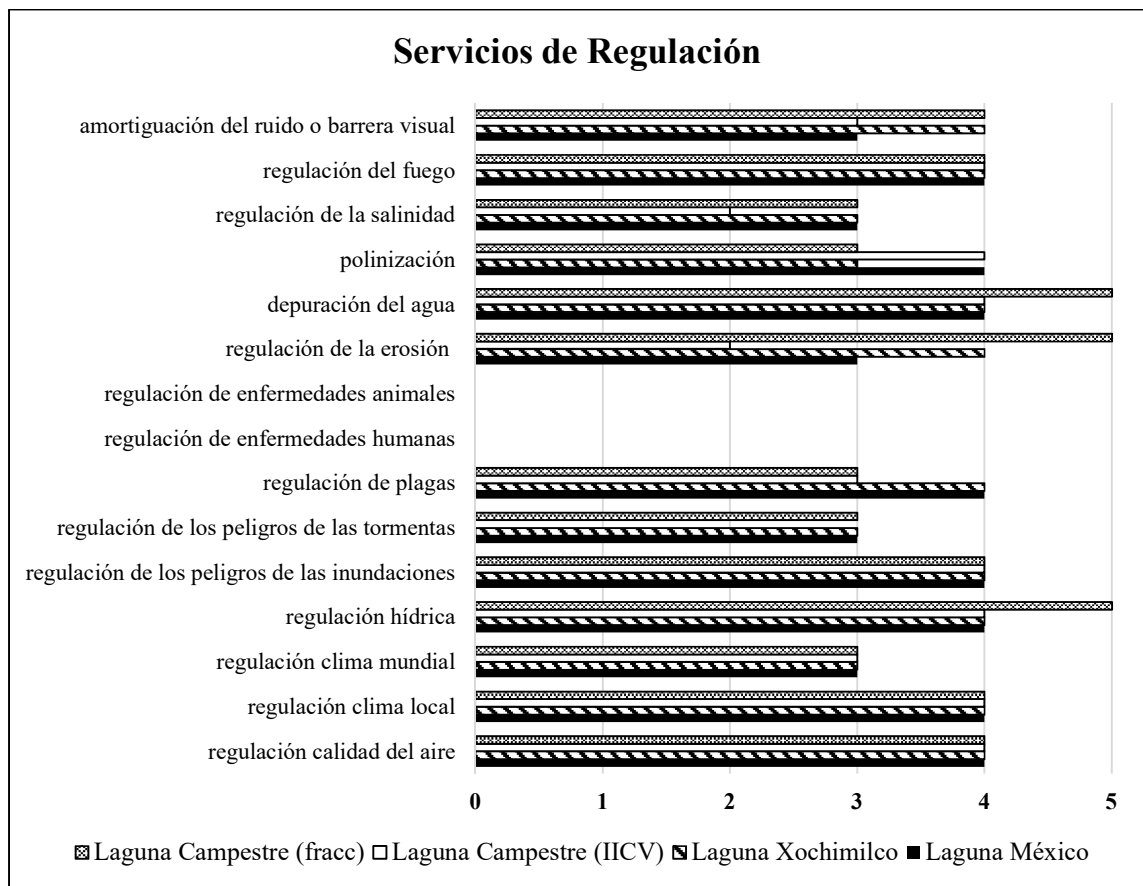


Figura 20. Servicios de regulación evaluados en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre. Fuente: Elaboración propia.

Los servicios culturales evaluados en los cuatro sitios del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre se presentan en la figura 21, donde los servicios con mayor ponderación en los cuatro sitios fueron: educación e investigación, relaciones sociales y valor estético. Aunque estadísticamente no hubo diferencias significativas (Tabla 20), los resultados concuerdan con lo expresado por (McInnes & Everard, 2017) para el humedal de Sri Lanka. Además, Caldelas-Rojas, (2017) describe el paisaje del sistema lagunar como: ordenado, único, bonito, seguro, limpio, agradable, brillante, diverso, tranquilo, fértil, verde y fresco. Al respecto Valdés-Tejera, (2017) expresa que la experiencia sensible durante el recorrido de un espacio es multi-sensorial y que la apreciación de sus valores ambientales y estéticos surge de la combinación entre lo natural y lo hecho por el hombre. Afirma que este tipo de experiencias lleva al conocimiento y a la comprensión del espacio natural e induce un sentimiento de empatía hacia el resto de las especies que habitan el lugar.

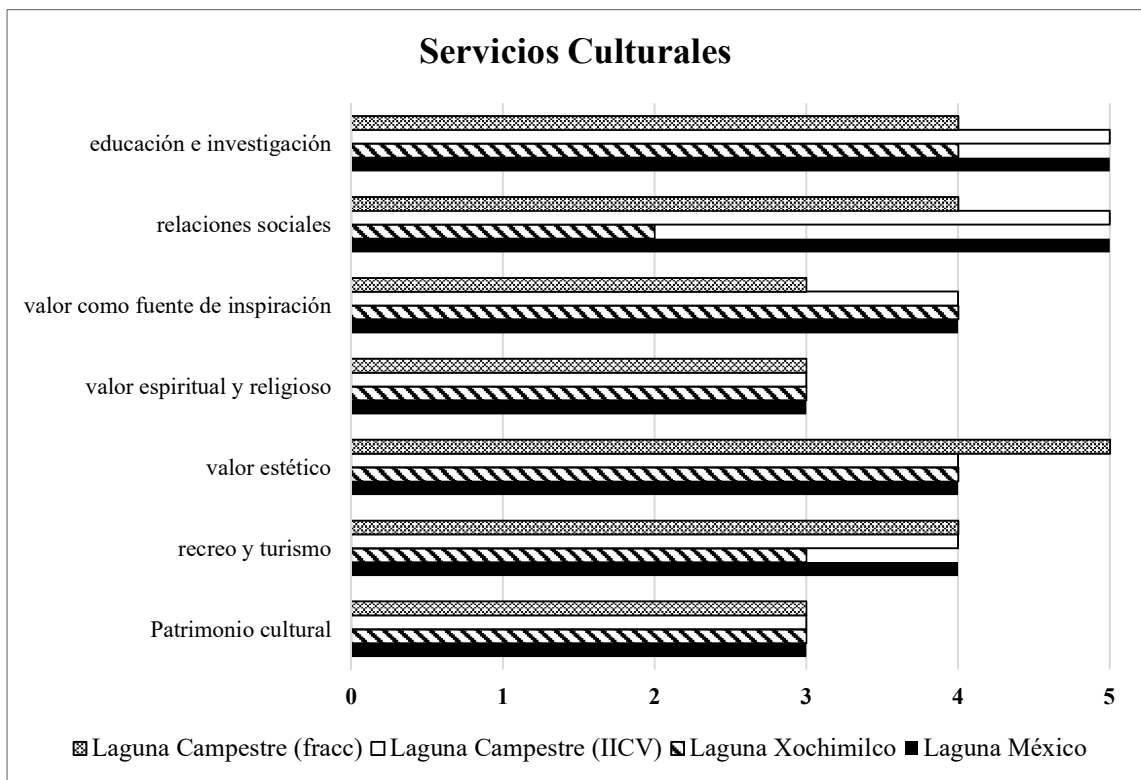


Figura 21. Servicios culturales evaluados en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre. Fuente: Elaboración propia.

Los servicios de soporte evaluados en los cuatro sitios del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre se presentan en la figura 22, donde todos los servicios tuvieron una alta ponderación en los cuatro sitios: provisión de hábitat, reciclado de agua, ciclo de nutrientes, producción primaria y formación de suelos. Aunque estadísticamente no hubo diferencias significativas (Tabla 20), los resultados concuerdan con lo expresado por (McInnes & Everard, 2017) para el humedal de Sri Lanka, donde el servicio de provisión de hábitat es uno de los más importantes. Asimismo, Gardner & Finlayson, (2018) afirman que existe una diferencia sustancial entre los servicios que ofrecen los humedales continentales, como el caso del sistema lagunar, y los humedales costeros; donde los servicios de regulación están sustentados primordialmente en el apoyo a la biodiversidad, la formación del suelo y el ciclo de los nutrientes.

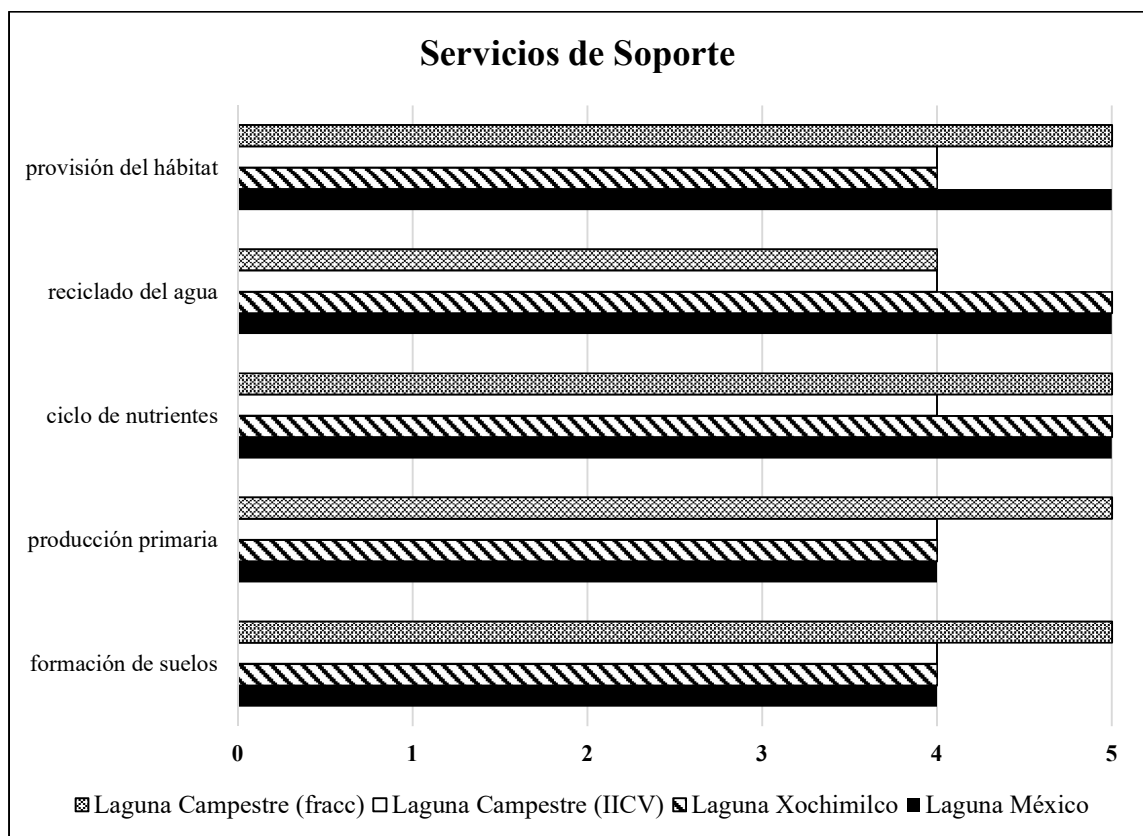


Figura 22. Servicios de soporte evaluados en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre. Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la Tabla 21 se establecen cuáles son los beneficios de los servicios ecosistémicos evaluados en el sistema lagunar. En ellos destacan como beneficios globales la provisión del hábitat, el cual como lo mencionan distintos autores, es el servicio más importante que proveen los humedales (R. Gardner et al., 2015; McInnes & Everard, 2017). En el caso del sistema lagunar (Salazar-Briones et al., 2018) establecen que debe enfocarse la atención en mantener los servicios de soporte del sistema con el fin que el resto de los servicios como el de regulación de caudales y peligro de inundaciones en el Río Nuevo se mantengan.

Tabla 2223. Beneficios de los servicios ecosistémicos en cada uno de los sitios evaluados en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.

	Servicio ecosistémico	Local	Ciudad	Regional	Nacional	Global
Servicios de Suministro	Agua dulce	4	0	0	0	0
	Alimentos	4	0	0	0	0
	Combustible	4	0	0	0	0
	Fibras	4	0	0	0	0
	Recursos genéticos	4	0	0	0	0
	Medicinas o productos farmacéuticos naturales	4	0	0	0	0
	Recursos ornamentales	4	0	0	0	0
	Extracción de arcilla, minerales, áridos	4	0	0	0	0
	Eliminación de residuos	4	0	0	0	0
	Explotación de energía eólica e hidráulica	3	1	0	0	0
	Servicios de Regulación	Regulación de la calidad del aire	4	0	0	0
Regulación del clima local		4	0	0	0	0
Regulación del clima mundial		0	0	0	0	0
Regulación hídrica		3	1	0	0	0
Regulación de los peligros de las inundaciones		3	1	0	0	0
Regulación de los peligros de las tormentas		4	0	0	0	0
Regulación de plagas		4	0	0	0	0
Regulación de enfermedades humanas		0	0	0	0	0
Regulación de enfermedades animales		0	0	0	0	0
Regulación de la erosión		4	0	0	0	0
Depuración del agua		4	0	0	0	0
Polinización		4	0	0	0	0
Regulación de la salinidad		4	0	0	0	0
Regulación del fuego		4	0	0	0	0
Amortiguación del ruido o barrera visual	4	0	0	0	0	
Servicios Culturales	Patrimonio cultural	3	1	0	0	0
	Recreo y turismo	2	1	1	0	0
	Valor estético	4	0	0	0	0
	Valor espiritual y religioso	4	0	0	0	0
	Valor como fuente de inspiración	4	0	0	0	0

Servicios de Soporte	Relaciones sociales	2	1	1	0	0
	Educación e investigación	3	1	0	0	0
	Formación de suelos	4	0	0	0	0
	Producción primaria	4	0	0	0	0
	Ciclo de nutrientes	4	0	0	0	0
	Reciclado del agua	4	0	0	0	0
	Provisión del hábitat	1	1	0	1	1

Fuente: Elaboración propia, con base en (McInnes & Everard, 2017).

El método de evaluación rápida de los servicios de los humedales (RAWES) está diseñado como un sistema de evaluación rápida y sencilla de los sitios que puede utilizar información procedente de estudios previos, pero no se basa en evaluaciones detalladas y cuantitativas. Este método considera las exigencias de la Convención Ramsar y particularmente, la necesidad de realizar evaluaciones cualitativas que no requieran muchos recursos de tiempo y dinero y que se puedan usar con el fin de elaborar o actualizar las Fichas Informativas de los humedales Ramsar (FIR), o bien para presentar los informes relacionados con la propia convención. Además, se puede aplicar a distintas escalas tales como el sitio, el paisaje o la cuenca y se considera un método sistémico que trata todos los servicios de los humedales como un conjunto de elementos interrelacionados en vez de seleccionar solo los servicios más fáciles de evaluar y por lo tanto, ignorar otros servicios que también son importantes.

Una de las ventajas del método RAWES es su flexibilidad y que se puede utilizar a distintas escalas, desde humedales completos hasta zonas específicas de humedales extensos y complejos, ya que es el evaluador el que tiene la responsabilidad de definir el “humedal” y documentar el razonamiento seguido para fijar los límites.

Sin embargo, se debe considerar el estado de los humedales, ya que debido al dinamismo de los mismos, ya sea natural o debido a la acción del hombre, el estado “natural” puede variar con el tiempo, y será necesario garantizar que este patrón temporal se tenga en cuenta en la evaluación de los servicios. Lo más importante es garantizar que se evalúe una amplia variedad de servicios, que las pruebas utilizadas para obtener los resultados de la evaluación sean transparentes y claras y que se documente el contexto temporal existente. Los resultados se pueden utilizar además para informar de forma inicial evaluaciones

cuantitativas más completas de los servicios, o como parte de las evaluaciones de impacto ambiental.

Los resultados de la evaluación utilizando en método RAWES en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre, establecen que los principales servicios que ofrece este humedal son: de regulación climática local, calidad del aire y regulación hídrica, mientras que los servicios de soporte más importantes son provisión del hábitat, que se ven fuertemente amenazados por el crecimiento de la ciudad. Lo que concuerda con lo expresado por (Athukorala et al., 2021) en el humedal de marisma de Muthurajawela y la laguna de Negombo donde la expansión sustancial de los asentamientos urbanos han provocado una enorme disminución en la extensión de sus bosques de pantanos y manglares, lo que indica que la urbanización es el factor de cambio más importante en la transformación del paisaje de esos humedales.

En cuanto al Estudio de Paisaje del sistema lagunar, una vez definidas las unidades de paisaje acotadas (Figura 23) se realizó una breve descripción de cada una de ellas. La delimitación adecuada de las unidades de paisaje permite establecer los objetivos de calidad para cada parte del territorio, así como zonificar el suelo no urbanizable (Muñoz-Criado, 2012).

Unidad 1: Sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre. Es la parte central del antiguo cauce del Río Colorado durante sus grandes crecidas hacia EU, desde su desviación en el área agrícola del Valle de Mexicali en la antigua Laguna de los Volcanes (Walther, 1991), hasta encontrarse con el área urbana formando un cauce amplio de baja velocidad con vegetación arbustiva y riparia en los bordes. Está integrada por el cuerpo de agua (1) en la Figura 23.

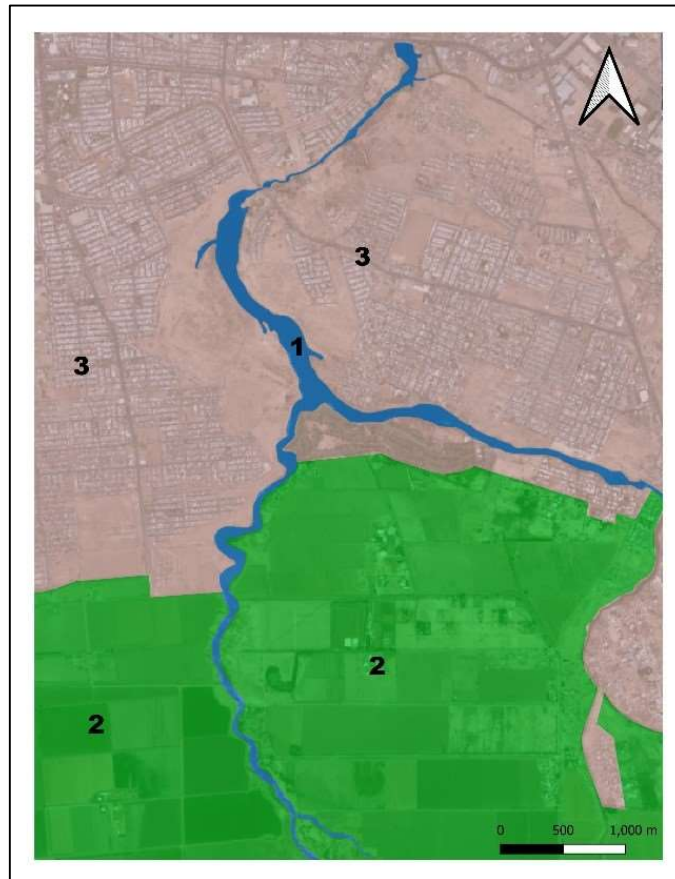


Figura 23. Unidades de paisaje caracterizadas. (1) Sistema lagunar, (2) Área agrícola y (3) Periferia urbana. Fuente: Elaboración propia. Con base en QGIS 3.14.

Unidad 2: Área agrícola. Se trata de una superficie de producción agrícola perteneciente al Distrito de Riego 014 del Valle de Mexicali, compuesta por suelos tipo regosol de alta productividad donde se cultivan principalmente cereales, forrajes y en poca proporción frutales (INEGI, 2011b). Está integrada por los campos agrícolas y suelos sin vegetación (2) en la Figura 23.

Unidad 3: Periferia urbana. Es una estructura urbana consolidada ubicada al sur de la ciudad producto de la expansión urbana. Se compone de fraccionamientos de tipo medio y de interés social, algunos aún limitados en dotación de infraestructura urbana, con diversos servicios comerciales e innumerables terrenos baldíos producto del abandono de áreas de

cultivo aledañas. Está integrada por áreas residenciales, áreas verdes, zona industrial-comercial, terrenos baldíos y vialidades (3) en la Figura 23.

En la fase de Caracterización, se enlistaron las características más importantes de cada unidad de paisaje como son: agua, vegetación y suelo, así como las particularidades que degradan y si existen recursos paisajísticos visuales, culturales y ambientales que destaquen en cada unidad de paisaje, las que se muestran en las siguientes tablas: Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24:

Tabla 2425. Caracterización de la unidad de paisaje. Sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.

Cualidades paisajísticas	
Agua	Cuerpo de agua permanente de bordes definidos, con forma bidimensional. Tiene contraste con los alrededores.
Vegetación	Diversidad de especies tanto nativas como exóticas. Forma bidimensional y de bordes definidos.
Suelo	Pendiente suave con cantiles rectos de tamaño variable. Forma bidimensional con bordes definidos, colores ocres.
Elementos que degradan	
Construcciones en los bordes del cauce donde se establece la vegetación riparia.	
Vías de comunicación que fragmentan el cauce del cuerpo de agua.	
Ubicación del centro de transferencia de residuos municipales en el borde del cuerpo de agua.	
Recursos paisajísticos culturales	
Leyenda sobre la existencia de un monstruo que habita la Laguna Xochimilco.	
Recursos paisajísticos ambientales	
Parque residencial en los alrededores de la laguna México (parque Lagos del Sol).	
Utilización del cuerpo de agua para avistamiento de aves y educación ambiental.	
Recursos paisajísticos visuales	
Avistamiento de aves la mayor parte del año.	
Vistas de atardeceres y amaneceres en las orillas del sistema lagunar.	

Fuente: elaboración propia. Con base en (de la Fuente, 2015a)

Tabla 2627. Caracterización de la unidad de paisaje. Área agrícola.

Cualidades paisajísticas	
Agua	No visible, tipo canal, con velocidad predominantemente baja. Forma bidimensional.
Vegetación	Cultivos variados que dependen de la época de siembra, la mayoría estacionales. Vegetación riparia permanente. Forma bidimensional y de bordes definidos.
Suelo	Pendiente suave, se aprecia el contraste con la vegetación por los colores ocres de los terrenos en labranza o abandonados. Forma bidimensional de bordes definidos.
Elementos que degradan	
Basura en los canales de riego.	
Quemas parcelarias.	
Relleno del cauce de agua para ganar terreno agrícola.	
Recursos paisajísticos culturales	
NA	
Recursos paisajísticos ambientales	
Campo de golf que utiliza parte de la Laguna Campestre para su circuito	
Canteras de recursos pétreos por la carretera federal No. 5 (Mexicali-San Felipe)	
Recursos paisajísticos visuales	
Avistamiento de fauna y flora nativas de la región.	
Vistas de atardeceres y amaneceres.	

Fuente: elaboración propia. Con base en (de la Fuente, 2015a).

Tabla 2829. Caracterización de la unidad de paisaje. Periferia urbana.

Cualidades paisajísticas	
Agua	Cuerpo de agua permanente de bordes definidos, con forma bidimensional. Tiene contraste con los alrededores.
Vegetación	Pocas especies que quedan restringidas a la zona donde se represó el sistema lagunar.
Actuaciones humanas	Crecimiento urbano en expansión. Tiene una distribución dominante, algunos fraccionamientos están bien conservados, otros están abandonados y/o deteriorados.
Elementos que degradan	
Crecimiento expansivo de los fraccionamientos habitacionales.	
Relleno y azolve de los canales de agua.	
Lotes baldíos que se usan como tiraderos de basura.	
Recursos paisajísticos culturales	
NA	
Recursos paisajísticos ambientales	
Senderos ecológicos en las riberas del sistema lagunar	
Educación ambiental a grupos escolares que visitan el sistema lagunar	
Recursos paisajísticos visuales	
Atardeceres y amaneceres.	
Avistamiento de aves.	

Fuente: elaboración propia. Con base en (de la Fuente, 2015a).

En la Fase de Valoración del paisaje se utilizó la matriz FODA con el objetivo de valorar el manejo sustentable del paisaje, ya que permite evidenciar y reflexionar aquellos aspectos tanto positivos como negativos presentes en una organización de cualquier naturaleza (Ponce, 2006). En el caso del manejo y cuidado del paisaje, el análisis FODA permite diagnosticar cuáles son los puntos fuertes en los que se deben basar las estrategias de desarrollo y conservación del paisaje; así como conocer los puntos débiles que se deben cuidar para evitar su deterioro; además de aprovechar las oportunidades para obtener el máximo rendimiento posible; y evidenciar aquellos riesgos y amenazas que pueden traer consecuencias negativas para el paisaje del sistema lagunar. En el Tabla 25 se presenta la matriz FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) elaborada de las unidades de paisaje caracterizadas del sistema lagunar.

Tabla 3031. Matriz FODA de las unidades de paisaje.

		Fortalezas		Oportunidades		
Factores Internos	F1	Abundancia de cauces naturales e infraestructuras hidro-agrícolas como espacios históricos y de conservación.	O1	Fomento del turismo ecológico.		
	F2	Importante patrimonio paisajístico-cultural del sistema lagunar y del Valle de Mexicali.	O2	Fomento del turismo alternativo.		
	F3	Mexicali ciudad fronteriza con California, EU.	O3	Incremento de la importancia económica del turismo regional.		
	F4	Cultura popular, paisaje agropecuario con elementos valorados por la población en general.	O4	Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Mexicali 2025 (PDUCEP Mexicali 2025).		
	F5	Establecimientos rurales para venta y/o degustación de productos agrícolas.	O5	Plan Estatal de Ordenamiento Territorial.		
			Debilidades		Amenazas	
	D1	Existencia de fragmentación urbana que dificulta unión y funcionalidad del territorio.	A1	Incremento de la presión urbana sobre el sistema lagunar.		
	D2	Falta de normatividad municipal y estatal específica e integral sobre humedales.	A2	Fragmentación del paisaje.		
	D3	Baja valoración del sistema lagunar como espacio de riqueza ecológica.	A3	Aumento de la población.		
	D4	Insuficiente aprovechamiento del potencial eco-turístico del sistema lagunar.	A4	Inseguridad.		
				Factores Externos		

Fuente: elaboración propia.

El siguiente paso al análisis FODA fue la elaboración de estrategias que tienen su base en los mismos resultados de la matriz. Ponce, (2006) propone que a partir de la matriz FODA, se desarrolle el marco analítico y la formulación cuantitativa de las estrategias a través de otras matrices como la Matriz de Evaluación de los Factores Internos (MEFI), la Matriz de Evaluación de los Factores Externos (MEFE), la Matriz de las Amenazas, Oportunidades, Debilidades y Fortalezas (MAFE) y la Matriz de la Posición Estratégica y la Evaluación de la Acción (MEPE).

La Matriz de Evaluación de los Factores Internos (MEFI) permite evaluar la situación interna del sistema lagunar (Tabla 26).

Tabla 3233. Matriz de Evaluación de los Factores Internos (MEFI) de las unidades de paisaje.

	Factor a analizar	Peso	Calificación	Peso ponderado
Fortalezas				
F1	Abundancia de cauces naturales e infraestructuras hidro-agrícolas como espacios históricos y de conservación.	0.1	3	0.3
F2	Importante patrimonio paisajístico-cultural del sistema lagunar y del Valle de Mexicali.	0.2	4	0.8
F3	Mexicali, ciudad fronteriza con California EU.	0.05	1	0.05
F4	Cultura popular, paisaje agropecuario con elementos valorados por la población en general.	0.08	2	0.16
F5	Establecimientos rurales para venta y/o degustación de productos agrícolas.	0.05	1	0.05
Debilidades				
D1	Existencia de fragmentación urbana que dificulta unión y funcionalidad del territorio.	0.15	4	0.6
D2	Falta de normatividad municipal y estatal específica e integral sobre humedales	0.12	4	0.48
D3	Baja valoración del sistema lagunar como espacio de riqueza ecológica	0.15	4	0.6
D4	Insuficiente aprovechamiento del potencial ecoturístico del sistema lagunar.	0.1	2	0.2
		1		3.24

Fuente: elaboración propia.

La Matriz de Evaluación de los Factores Externos (MEFE) establece un análisis cuantitativo simple de los factores externos, es decir, de las oportunidades y las amenazas que existen sobre el sistema lagunar (Tabla 27).

Tabla 3435. Matriz de Evaluación de los Factores Externos (MEFE) de las unidades de paisaje.

	Factor a analizar	Peso	Calificación	Peso ponderado
Oportunidades				
O1	Fomento del turismo ecológico	0.2	4	0.8
O2	Fomento del turismo alternativo.	0.18	4	0.72
O3	Incremento de la importancia económica del turismo regional.	0.18	4	0.72
O4	Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Mexicali 2025 (PDUCP Mexicali 2025).	0.06	3	0.18
O5	Plan Estatal de Ordenamiento Territorial.	0.06	3	0.18
Amenazas				
A1	Incremento de la presión urbana sobre el sistema lagunar	0.1	4	0.4
A2	Fragmentación del paisaje	0.1	4	0.4
A3	Aumento de la población	0.07	3	0.21
A4	Inseguridad.	0.05	1	0.05
		1		3.66

Fuente: elaboración propia.

A partir de la Matriz de las Amenazas, Oportunidades, Debilidades y Fortalezas (MAFE) se obtienen las estrategias mejor evaluadas (Tabla 28). Estas estrategias están divididas en cuatro tipos según (Manzano-Hoyos, 2015a):

- a) Ofensivas (F-O): son las estrategias de mayor impacto donde se combinan las fortalezas con las oportunidades, para hacer una diferencia sustancial.
- b) Defensivas (F-A): son las estrategias que se diseñan para enfrentar los posibles impactos negativos debido a las amenazas, usando las fortalezas.
- c) De adaptación (D-O): son las estrategias que se construyen para reducir o eliminar las debilidades, con el fin de maximizar las oportunidades.

- d) De supervivencia (D-A): son las estrategias más complejas donde se trata de minimizar las debilidades que pueden agravar el impacto negativo de las amenazas.

Se utilizan en momentos críticos.

Tabla 36. Matriz de las Amenazas, Oportunidades, Debilidades y Fortalezas (MAFE) de las unidades de paisaje.

		Fortalezas		Debilidades	
		F2	Importante patrimonio paisajístico-cultural del sistema lagunar y del Valle de Mexicali.	D1	Existencia de fragmentación urbana que dificulta unión y funcionalidad del territorio.
		F1	Abundancia de cauces naturales e infraestructuras hidro-agrícolas como espacios históricos y de conservación.	D3	Baja valoración del sistema lagunar como espacio de riqueza ecológica.
				D2	Falta de normatividad municipal y estatal específica e integral sobre humedales
Oportunidades		Estrategias FO		Estrategias DO	
O1	Fomento del turismo ecológico		Fomentar el turismo ecológico en el sistema lagunar y en el Valle de Mexicali.		Fomentar el turismo ecológico en el sistema lagunar con el fin de evitar su fragmentación.
O2	Fomento del turismo alternativo.		Fomentar el turismo alternativo en los cauces naturales y en infraestructuras hidro-agrícolas.		Fomentar el turismo alternativo en el sistema lagunar como avistamiento de aves, fotografía, etc.
O3	Incremento de la importancia económica del turismo regional.		Fomentar el turismo regional en el sistema lagunar, los cauces naturales y en el Valle de Mexicali.		Fomentar el turismo regional con base en normativa específica sobre humedales.
Amenazas		Estrategias FA		Estrategias DA	
A1	Incremento de la presión urbana sobre el sistema lagunar		Fomentar la educación ambiental en el sistema lagunar.		Impulsar la normativa sobre paisaje para evitar mayor presión urbana sobre el sistema lagunar.
A2	Fragmentación del paisaje		Fomentar visitas guiadas de escuelas y gente local en el sistema lagunar.		Impulsar la normativa sobre ordenamiento territorial para evitar la fragmentación del paisaje en el sistema lagunar.

Fuente: elaboración propia.

La Matriz de Posición Estratégica y Evaluación de la Acción (MPEEA) permite evaluar de forma gráfica cuál es el tipo de estrategia establecida en el sistema lagunar (Tabla 29).

Tabla 37. Matriz de Posición Estratégica y Evaluación de la Acción (MPEEA).

Eje x			Eje y		
Factor	Valor	Calificación	Factor	Valor	Calificación
O1	20	6	F1	10	4
O2	18	5	F2	20	6
O3	18	5	F3	5	1
O4	6	2	F4	8	4
O5	6	2	F5	5	1
Promedio O = 4			Promedio F = 3.2		
A1	10	-6	D1	15	-6
A2	10	-6	D2	12	-5
A3	7	-4	D3	15	-6
A4	5	-2	D4	10	-3
Promedio A = -5			Promedio D = -5		
Total	100	$\sum(x) = -1.0$	Total	100	$\sum(y) = -1.8$

Fuente: elaboración propia.

Finalmente se graficó la coordenada obtenida de la matriz MPEEA (Figura 24) la que se ubicó en el cuadrante de las estrategias de supervivencia (D-A), las que según (Manzano-Hoyos, 2015) son las estrategias más complejas donde se trata de minimizar las debilidades que pueden agravar el impacto negativo de las amenazas. Las Debilidades (eje “y”) más importantes son: la fragmentación urbana, una baja apreciación de la riqueza ecológica del sistema lagunar y la falta de normatividad en cuanto a la protección del paisaje de los humedales; las cuales empeoran el impacto negativo de las Amenazas (eje “x”) como son: el incremento en la presión urbana debido al incremento de la población y la fragmentación del paisaje del sistema lagunar. Por lo que se hace necesario el impulso de la normatividad en la gestión del territorio para lograr la integración del paisaje y por ende, la sustentabilidad del sistema lagunar.

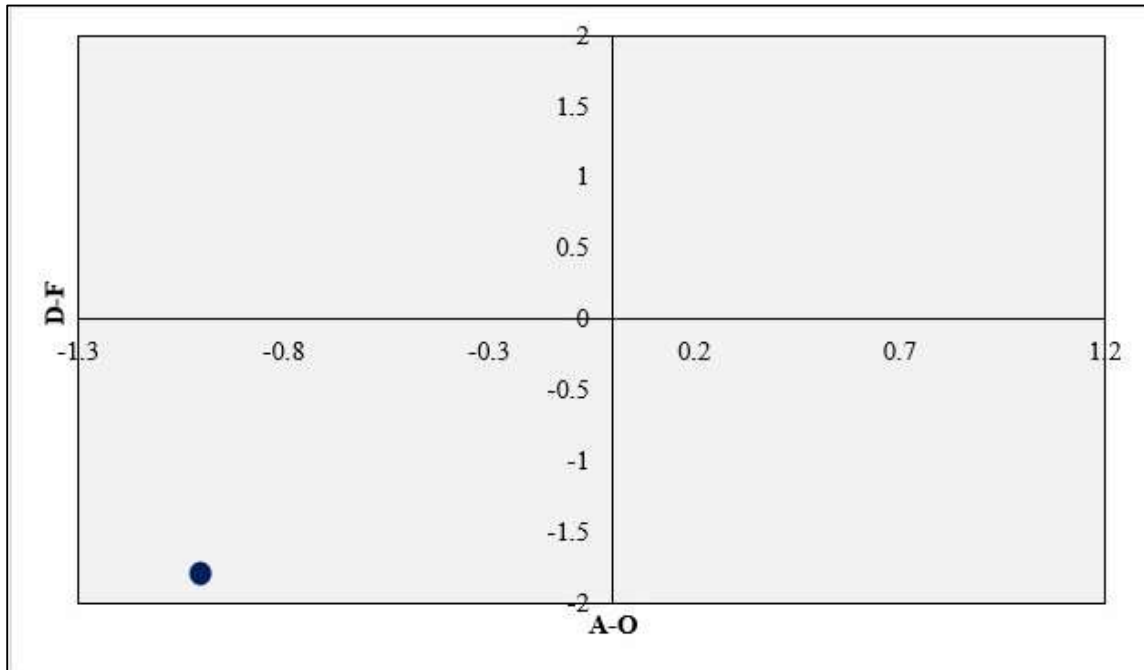


Figura 24. Gráfica de la coordenada de la matriz MPEEA. Fuente: elaboración propia. Con base en Ponce, (2006)

Con respecto a la Calidad paisajística, se usaron las características físicas y estéticas de las unidades de paisaje que pueden ser medibles como: formas del terreno, vegetación, agua, color, influencia adyacente, contexto escénico, escasez o rareza y modificaciones debido a actuaciones humanas en donde a cada componente se le asigna un puntaje según criterios de valoración establecidos en la metodología BLM y que se presentan en el Tabla 30. Se trata de un método indirecto según (Pozo Antonio, 2011; Ruiz-García, 2016), aunque (López-Contreras et al., 2019) consideraron que el método BLM es más bien un método mixto, debido a que se realiza una evaluación indirecta del paisaje considerando las principales características visuales que lo componen y se les otorga un valor numérico a su calidad visual.

Tabla 38. Criterios y puntaje de evaluación establecidos en BLM.

Componente	Características	Valor	Ponderación
Morfología del terreno	Relieve muy montañoso, marcado, prominente	5	Alta
	Relieve muy montañoso pero no muy marcado ni prominente	3	Media
	Relieve llano o con colinas suaves, fondos de valles	1	Baja
Vegetación	Gran variedad de tipos de vegetación	5	Alta
	Alguna variedad de vegetación	3	Media
	Poca o ninguna variedad de vegetación	1	Baja
Agua	Factor dominante, apariencia limpia y clara	5	Alta
	No dominante en el paisaje	3	Media
	Ausente o inapreciable	0	Baja
Color	Combinaciones de color intensas y variadas, o contrastes del suelo o entresuelo, vegetación, rocas y nieves	5	Alta
	Alguna variedad e intensidad en los colores y contrastes del suelo, roca y vegetación, pero no actúa como elemento dominante	3	Media
	Muy poca variación de color o contraste, colores apagados	1	Baja
Contexto escénico	El paisaje circundante potencia mucho la calidad visual	5	Alta
	El paisaje circundante incrementa moderadamente la calidad visual del conjunto	3	Media
	El paisaje adyacente no ejerce influencia en la calidad del conjunto	0	Baja
Rareza	Único o poco corriente o muy raro en la región. Posibilidad de encontrar fauna y vegetación excepcional	5*	Alta
	Característico aunque similar a otros en la región	2	Media
	Bastante común en la región	1	Baja
Actuaciones humanas	Libre de actuaciones estéticamente no deseadas o con modificaciones que inciden desfavorablemente en la calidad visual	2	Alta
	La calidad escénica está afectada por modificaciones poco armoniosas o por modificaciones intensas o extensas	0	Media
	Modificaciones intensas y extensas que reducen o anulan la calidad escénica	-4	Baja

Fuente: (de la Fuente, 2015b).

Originalmente el método BLM fue diseñado por el gobierno de EU para evaluar la calidad visual de paisajes montañosos (Ruiz-García, 2016), sin embargo ha demostrado su utilidad en diversos escenarios, como lo demuestra su uso para evaluar la calidad del paisaje en el proyecto Alférez San Marcos en Colombia, donde las unidades de paisaje estudiadas

estaban asociadas principalmente a zonas residenciales, turísticas, vías de comunicación infraestructuras urbanas, comerciales, así como canales de riego y producciones agrícolas intensivas y semi-intensivas (Colombiana, 2018). O en el trabajo realizado por (Ruiz-García, 2016) que usó la metodología BLM para evaluar la calidad visual del paisaje en el frente costero de la ciudad de Ensenada, Baja California. También se utilizó la metodología BLM en (Aguilera - Fernández et al., 2016) para evaluar el impacto visual que causó la explotación minera en el yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba.

En todos estos estudios se muestra la utilidad del método cuando no existe otra metodología específica para la zona de estudio y en donde se necesite evaluar al paisaje debido a la presencia de componentes naturales raros o a la presencia de actividades humanas que degraden o transformen el paisaje.

Posteriormente, la sumatoria final determinó la clase de calidad visual por comparación con la siguiente escala de referencia establecida en Tabla 31:

Tabla 39. Clases de calidad visual establecidos en BLM.

Clase	Características	Valoración
A	El paisaje es de alta calidad, áreas con rasgos singulares y sobresalientes	>19 puntos
B	El paisaje es de calidad media, áreas cuyos rasgos poseen variedad en la forma, color, línea y textura, pero que resultan comunes en la región estudiada y no excepcionales	12-18 puntos
C	El paisaje es de baja calidad, áreas con muy poca variedad en la forma, color, línea y textura	<11 puntos

Fuente: (de la Fuente, 2015b).

Unidad 1. Sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.



Figura 25. Sistema lagunar México-Xochimilco-campestre. Archivo de la autora.

Tabla 40. Evaluación de la calidad paisajística del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.

PUNTUACIÓN				
	Alto	Medio	Bajo	Explicación
Morfología del terreno	5	3	1	Relieve llano pendiente muy suave
Vegetación	5	3	1	Pocas especies, pero muy diferenciadas
Agua	5	3	0	Factor dominante. Apariencia tranquila
Color	5	3	1	Combinaciones variadas entre la vegetación, el suelo y el agua
Contexto Escénico	5	3	0	El paisaje del fondo incrementa la calidad visual del paisaje (Sierra Cucapáh)
Rareza	5*	2	1	Sistema lagunar dentro de la ciudad con vegetación riparia y presencia de aves
Actuaciones Humanas	2	0	-4	Modificaciones que reducen la calidad escénica como las construcciones del fondo
Total:	22			
Calidad visual:	Alta			

Fuente: elaboración propia.

Unidad 2. Área agrícola.

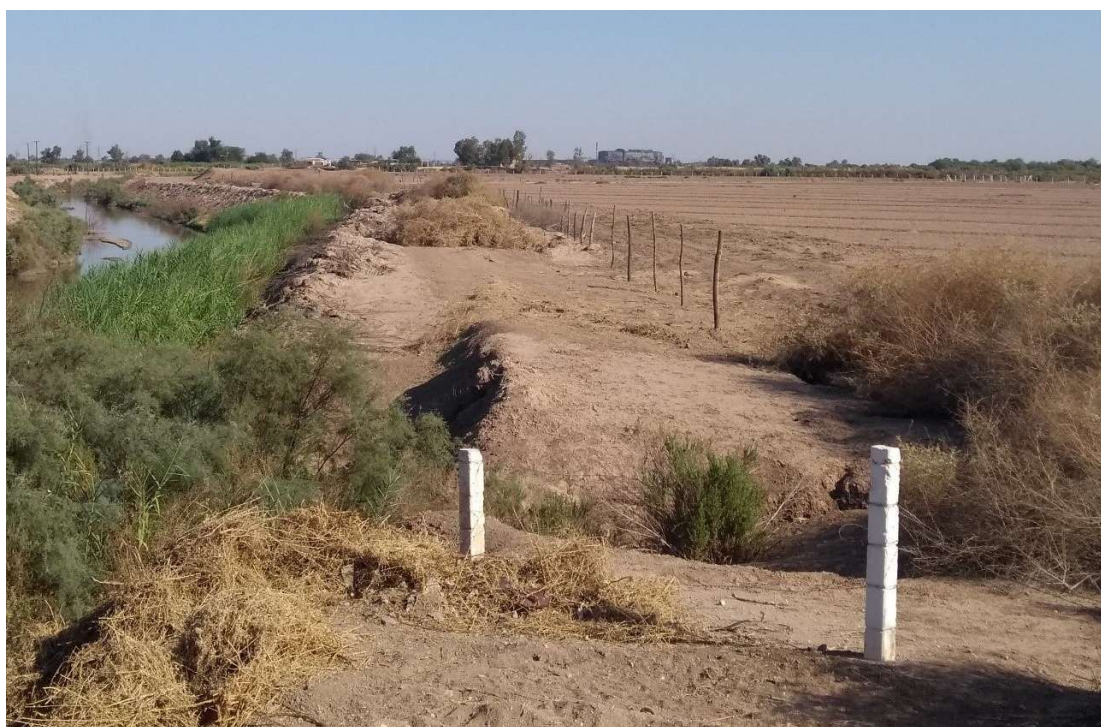


Figura 26. Área agrícola en los alrededores del sistema lagunar. Archivo de la autora.

Tabla 41. Evaluación de la calidad paisajística del área agrícola.

PUNTUACIÓN				
	Alto	Medio	Bajo	Explicación
Morfología del terreno	5	3	1	Relieve llano pendiente suave
Vegetación	5	3	1	Pocas especies presentes
Agua	5	3	0	Presencia no dominante
Color	5	3	1	Variedad de color entre la vegetación y el suelo
Contexto Escénico	5	3	0	El paisaje del fondo influye moderadamente en la calidad visual del paisaje
Rareza	5*	2	1	Paisaje similar a otros en la región
Actuaciones Humanas	2	0	-4	Está afectada por las modificaciones de los cultivos (presencia de cercos) la siderúrgica al fondo y postes de energía eléctrica
Total:	15			
Calidad visual:	Media			

Fuente: elaboración propia.

Unidad 3. Periferia urbana.



Figura 27. Fraccionamientos en los alrededores del sistema lagunar. Archivo de la autora.

Tabla 42. Evaluación de la calidad paisajística de la periferia urbana alrededor del sistema lagunar.

PUNTUACIÓN				
	Alto	Medio	Bajo	Explicación
Morfología del terreno	5	3	1	Relieve en hondonada, con cantiles altos en los bordes de la laguna
Vegetación	5	3	1	Pocas especies
Agua	5	3	0	Factor dominante, apariencia oscura y con poco movimiento
Color	5	3	1	Combinaciones variadas entre el agua, las construcciones, el suelo y la vegetación
Contexto Escénico	5	3	0	El paisaje del fondo ejerce influencia en la calidad visual del paisaje (negativo)
Rareza	5*	2	1	Característico de la región
Actuaciones Humanas	2	0	-4	Está afectado por las construcciones alrededor del cauce y las líneas de electricidad (postes)
Total:	11			
Calidad visual:	Baja			

Fuente: elaboración propia.

Es importante involucrar a la ciudadanía en los estudios de paisaje, ya que a partir de la participación ciudadana es posible extraer información acerca de la relación que guarda el sistema lagunar (territorio) y la población sobre aspectos como lugares más frecuentados, espacios atractivos para visitar, actividades realizadas en el sitio, memoria cultural, entre otros (Muñoz-Criado, 2012).

La encuesta aplicada constó de dos partes, la primera estuvo dirigida en recopilar los datos personales del entrevistado, donde la mayoría de los encuestados fueron mujeres (69.29%), con un rango de edad predominante de 18 a 25 años (60.52%) y con estudios de licenciatura (62.28%). El 70.17% de los encuestados son residentes de la ciudad y el 53.50% tienen viviendo toda su vida en Mexicali.

La segunda parte de la encuesta estuvo dirigida en conocer la percepción y opinión de los entrevistados sobre el sistema lagunar, donde el 77.19% de los encuestados dijo conocer las lagunas que existen en Mexicali. Sin embargo, el 67.54% mencionó que no le agrada lo que ve en ellas y el 92.98% comentó que estaba de acuerdo en que se hiciera un plan para rehabilitar o manejar el sistema lagunar.

Las respuestas de los entrevistados a la pregunta 8 de la encuesta: ¿Cuáles son las lagunas que conoce?, se muestran en la siguiente figura (Figura 28):

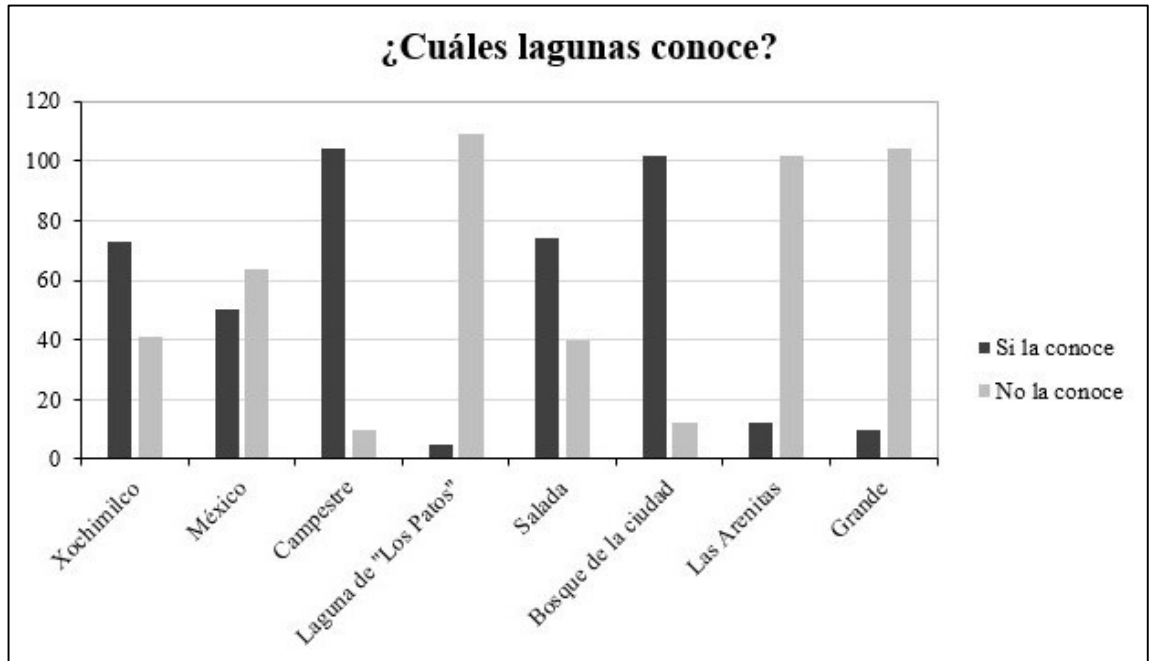


Figura 28. Respuestas de los entrevistados a la pregunta 8. Fuente: elaboración propia.

Como se aprecia en la figura 28 la laguna más mencionada por los encuestados fue la Laguna Campestre que forma parte del sistema lagunar, seguida por la Laguna del Bosque de la Ciudad, que es una laguna artificial alimentada con agua del canal Wisteria y que se localiza dentro de la zona urbana. En tercer lugar se mencionó la Laguna Salada que se localiza fuera de la ciudad de Mexicali, por la carretera federal No. 2 que conduce a la ciudad de Tijuana. Se trata de un referente histórico para la comunidad indígena Cucapáh, antiguos pobladores de Mexicali, quienes pescaban en ella durante las crecidas del Río Colorado o durante el periodo de mareas altas del Golfo de California (Contreras et al., 2005). Actualmente la Laguna Salada está seca debido a las represas construidas por parte de EU en el cauce aguas arriba del Río Colorado. La última laguna en ser mencionada fue la Laguna México, que también forma parte del sistema lagunar. Las lagunas con menores menciones fueron la Laguna de los Patos, la cual es un humedal remanente localizado por la carretera estatal 8 rumbo al poblado de "Los Algodones", seguida por la Laguna Grande y las Arenitas, ambos humedales artificiales localizados rumbo al puerto de San Felipe por la carretera federal No.5.

En la figura 29 se muestran las frecuencias marcadas por las actividades que según los entrevistados generan mayor daño al sistema lagunar. Las actividades señaladas fueron en orden de mención: basura, indiferencia de la gente, falta de aplicación de leyes por parte de las autoridades y contaminación del agua.

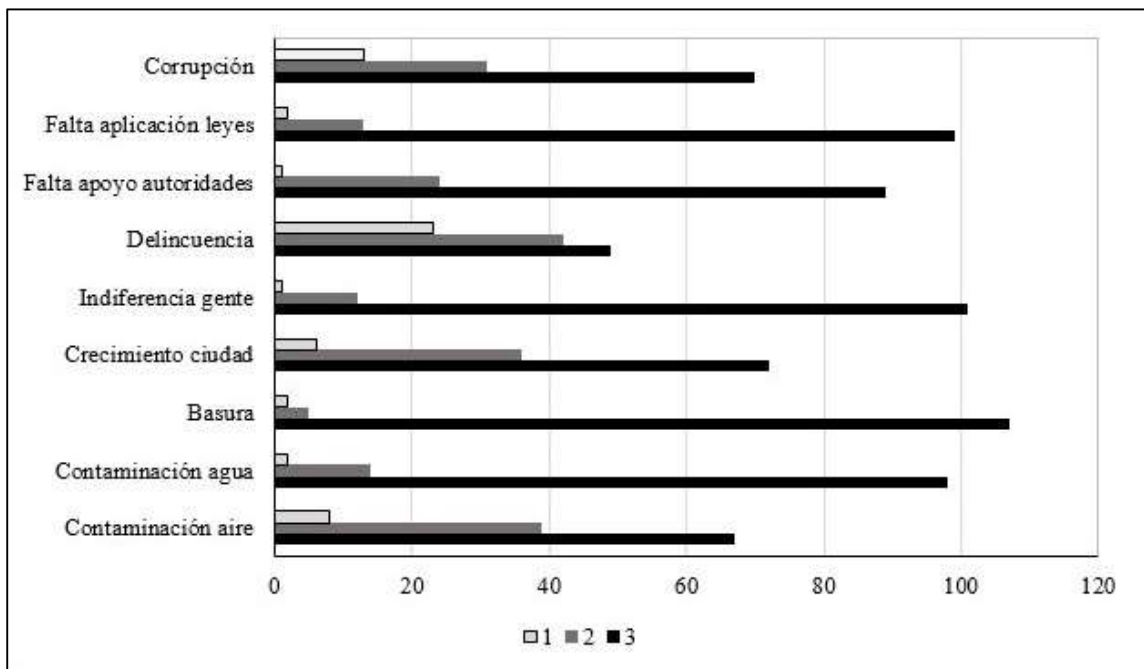


Figura 29. Valoración de los entrevistados sobre las actividades que mayor daño causan al sistema lagunar, donde 3 es mucho daño y 1 es nada de daño. Fuente: elaboración propia.

Por último, las respuestas a la pregunta 11 sobre qué acciones propondría como parte del plan de acción para el sistema lagunar se observan en la figura 30, donde las acciones con mayores menciones por parte de los encuestados fueron: campañas de limpieza, aplicación de mayores multas a quienes destruyan, quemen y/o tiren basura y campañas de educación para concientizar a la población sobre la importancia del sistema lagunar. También se observa que las acciones con mayores menciones pueden clasificarse en aquellas con tendencia a involucrarse directamente en el manejo del sistema lagunar (campañas de limpieza, campañas educativas, voluntariado, servicio social tanto de alumnos de distintos niveles educativos como de internos del CERESO y formación de grupos ciudadanos en los alrededores del sistema lagunar); y aquellas relacionadas a la gobernanza y aplicación de las

leyes (exigencia de las autoridades, mayores multas, incrementar la vigilancia en la zona del sistema lagunar, aplicación de la ley y reglamentos y monitoreo continuo).

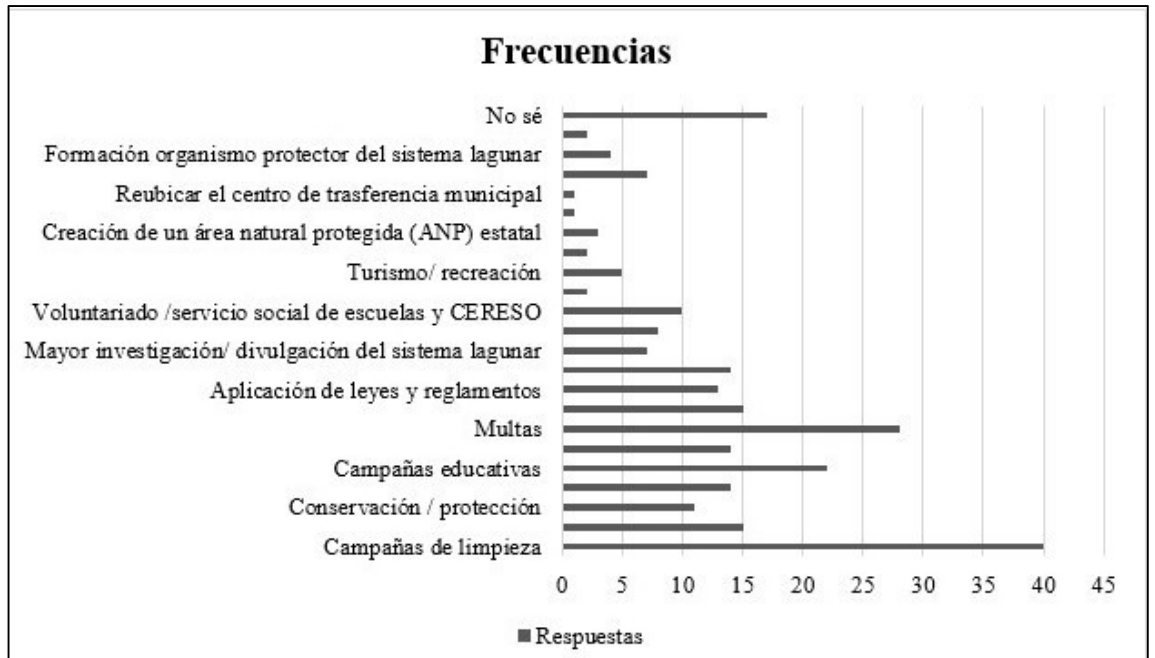


Figura 30. Respuestas de los entrevistados a la pregunta 11. Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los objetivos de calidad paisajística, se trata de líneas estratégicas de actuación, en las que se definen las aspiraciones que se proyectan hacia un paisaje, tomando en consideración la participación pública (Muñoz-Criado, 2012). Para establecer los objetivos de calidad paisajística se deben considerar dos aspectos: el valor del paisaje y los conflictos a los que se ve sometido. Los objetivos de calidad para el sistema lagunar se muestran en el Tabla 35.

Tabla 43. Objetivos de ordenamiento para las tres unidades de paisaje.

	Sistema lagunar	Área agrícola	Periferia urbana
Descripción	Conservar y mantener el sistema hídrico que alimenta el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre	Diversificar las actividades productivas por medio de la introducción de cultivos agrícolas nativos, así como aprovechar los recursos paisajísticos del Valle de Mexicali (ecoturismo)	Regular las actividades residenciales y productivas en el área periurbana, respetando el carácter natural y paisajístico de las áreas contiguas a la zona lagunar.
Valor (experto)	22 (alto)	15 (media)	11 (baja)
Objetivo de calidad	Proteger el humedal del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.	Gestionar la diversificación de las actividades económicas del Valle de Mexicali	Ordenar la periferia y las áreas de reserva ecológica alrededor del sistema lagunar.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la Fase III. Plan de Ordenación del paisaje, entre las acciones pertinentes del objetivo de calidad paisajística del sistema lagunar debe ser respetar la topografía original del sistema lagunar, manteniendo sus elementos naturales más significativos. Una de las formas de realizar esto sería mantener sana la vegetación existente, así como reforestar con especies nativas que permitan incrementar el carácter y la singularidad del paisaje del sistema lagunar.

Como parte del objetivo de calidad paisajística de área agrícola se debe potenciar una zonificación adecuada del suelo no urbanizable, evitando la construcción de nuevos fraccionamientos; así como se deben incluir cultivos agrícolas de especies nativas que potencien la Infraestructura Verde, para mejorar el paisaje de las zonas de transición física y visual entre el sistema lagunar y el área agrícola.

Dentro del objetivo de calidad paisajística de la periferia urbana, se debe priorizar la ubicación de actividades productivas fuera del área del sistema lagunar, respetando los

accesos al sistema, así como prohibir las actividades que impacten negativamente la calidad visual del sistema lagunar.

En cuanto a los programas de paisaje, éstos consisten en definir una acción prioritaria para cumplir con los objetivos de calidad paisajística planteados (Muñoz-Criado, 2012). En Tabla 36 se presentan los programas para cada una de las unidades paisaje:

Tabla 44. Programas para cada una de las tres unidades de paisaje

	Sistema lagunar	Área agrícola	Periferia urbana
Actuación 1	Elaborar un programa de mejoramiento de calidad de agua	Elaborar un programa de fomento a las actividades de ecoturismo en el Valle de Mexicali.	Actualizar la normatividad vigente referente a los planes parciales de crecimiento urbano considerando la protección del sistema lagunar.
Actuación 2	Elaborar un programa de limpieza de los cauces que alimentan al sistema lagunar	Proponer la introducción de cultivos agrícolas nativos del Valle de Mexicali.	Elaborar un plan de ordenamiento ecológico del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre.

Fuente: elaboración propia.

En México los esfuerzos de diversas dependencias gubernamentales, organizaciones ambientales y universidades se orientan por una parte, en la realización de trabajos que abordan la fragmentación de los paisajes tanto de las selvas como de los bosques húmedos utilizando principalmente la ecología del paisaje (Arroyo-Rodríguez, 2019); y por otra parte, aquellos estudios que utilizan la unidad del paisaje como unidad de regionalización y delimitación geomorfológica (Bocco et al., 2010). Sin embargo, los esfuerzos han sido puntuales y se han referido en la mayoría de los estudios en contabilizar y evaluar los recursos sean bióticos o abióticos, pero no se han enfocado en la gestión y ordenación del territorio, ya que un aspecto básico de la caracterización del paisaje es la de proporcionar información sobre la vocación y capacidad específica de cada territorio.

Sumado a lo anterior, en México existen problemas en la operación y puesta en marcha de las leyes federales existentes, ya que aunque se ha trabajado para elaborar la regionalización ecológica del territorio con el fin de evaluar el estado de los ecosistemas y planear el aprovechamiento de los recursos naturales, en la Ley General del Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente (LGEEPA), que establece precisamente la protección y la gestión sustentable del territorio, la regionalización ecológica del territorio se concibe erróneamente como un “objeto” del ordenamiento ecológico, y no como uno de sus prerequisites. Esta situación se origina por tres motivos: 1) algunos modelos de regionalización no favorecen la evaluación de la aptitud del terreno, paso crucial en el ordenamiento; 2) poca coherencia en los criterios rectores para los diferentes niveles cartográficos, con la consecuente ausencia de criterios para conectarse a los niveles subsiguientes; y 3) la utilización de conceptos y terminología adecuados que dificulta su aplicación en los estudios de ordenamiento por parte de quienes no son especialistas. Sin embargo, la mayoría de los expertos reconocen que el paisaje debe ser la base de cualquier clasificación integral de las unidades ambientales.

El valor más alto de calidad visual en la unidad de paisaje del sistema lagunar concuerda con lo mencionado por (Muñoz-Pedreros et al., 2012) para los humedales del río las Cruces, donde la sinergia entre el agua circundante y la vegetación, es importante. Por otra parte, el valor menor hallado en la unidad de paisaje de la Periferia urbana coincide con lo expresado en (Alberto et al., 2014), donde los valores mínimos en la calidad visual de las unidades de paisaje corresponden a zonas donde el impacto de las actividades humanas en los ecosistemas es amplio. Al respecto se considera que la zona comprendida entre el sistema lagunar, la zona agrícola y la periferia urbana es donde se da la mayor conversión de suelo natural o rural a suelo urbano, y donde también se hace patente la falta de integración en los paisajes.

Por lo que la aportación principal de este estudio es ofrecer información inicial en la evaluación de paisajes de humedales en zonas áridas, debido a que la mayoría de los estudios de paisaje que se realizan en México son, sobre todo, en ecosistemas de selvas y bosques húmedos, y muy pocos en humedales.

Con respecto al método BLM, que aunque fue diseñado para paisajes montañosos, tiene como ventaja que disminuye la subjetividad en la evaluación de la calidad visual de las unidades de paisaje, ya que al final se asigna un puntaje a cada componente según los criterios de valoración, y la suma total de los puntajes parciales determina la clase de calidad visual por comparación con una escala de referencia (Pozo Antonio, 2011). Como punto en contra, es posible que se termine valorando cosas que podrían no tener nada que ver con la calidad visual o la belleza de un paisaje (Muñoz-Pedrerros, 2004). Sin embargo, si como lo menciona (Ruiz-García, 2016), no se tiene un método específico para evaluar la calidad visual de la zona de estudio, entonces se deben emplear otras metodologías que consideren una evaluación al paisaje visual tanto por sus componentes naturales como por aquellos que son impactados por las actividades humanas y donde sea posible obtener información cuantitativa y poder analizarla por partes.

De este modo, según (Muñoz-Pedrerros, 2004) el método más adecuado que debe utilizarse para evaluar el paisaje deben considerar los siguientes puntos: a) un sustento teórico en el que se base, b) aceptar que se tendrá subjetividad en la evaluación, c) incluir la participación ciudadana y de expertos, y d) contar con información cartográfica en SIG que permitan realizar modelos predictivos de cambio en el territorio. Todos los puntos anteriores concuerdan con el uso de métodos mixtos.

Asimismo, los resultados del análisis FODA indican que existen unidades de paisaje atractivas y con potencial de aprovechamiento, pero éstos tienen restricciones normativas, de actuación y desconocimiento por parte de la población de cómo apropiarse adecuadamente de estas unidades de paisaje. Al respecto, en (Alberto et al., 2014) afirman que si no se realiza una planeación adecuada o no se tienen mecanismos multidisciplinarios para conservar y manejar los recursos naturales, hasta los programas de turismo alternativo y ecoturismo, pueden dañar los ecosistemas que se quieren conservar.

Por último, se observó por medio de la encuesta que es la gente con mayor tiempo de residencia en la ciudad la que conoce y reconoce el mayor número de humedales, conocidas coloquialmente como lagunas, en la ciudad así como sus paisajes. También es la más proactiva en cuestión de las propuestas para mejorar el paisaje de los humedales y del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre. A este respecto, (López-Contreras et al.,

2019) mencionan que a pesar de existir diferencias en la preferencia por ciertos aspectos del paisaje debido a la edad, nivel socioeconómico, nivel educativo o personalidad, existe un consenso entre los encuestados por las características que definen lo natural, así como la presencia de cuerpos de agua y vegetación.

En este sentido, podrían realizarse estudios que evalúen el cambio en el paisaje centrados tanto en el cuerpo de agua, como en la vegetación nativa, así como fomentar las actividades eco-turísticas para que la gente se apropie del sistema lagunar y ayude en su conservación y protección.

VI. CONCLUSIONES

La investigación de servicios ecosistémicos en Latinoamérica ha ido creciendo constantemente, pero todavía se necesita mucha más información. Se necesitan más estudios para conectar los procesos ecológicos, la oferta potencial y la entrega real de los servicios a las comunidades. La investigación sobre la oferta de los servicios se limita a pocos servicios, principalmente los referidos a los que tienen impactos globales como la regulación del clima mundial, la regulación de las inundaciones, y regionales como la regulación de la calidad del aire, la regulación del peligro de las tormentas, entre otros. Las comparaciones sistemáticas entre países, estudios y servicios se ven obstaculizadas por la falta de información y el uso de distintos métodos que no permiten realizar comparaciones eficaces entre ellos, por lo que se hace necesario contar con herramientas que permitan realizar dichas comparaciones.

En el caso de la metodología RAWES, se destacó que los servicios ecosistémicos más importantes en el sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre son la provisión del hábitat, como un servicio de soporte y la regulación del clima y la calidad del aire como servicios de regulación. Sin embargo, el crecimiento de la ciudad ejerce una gran presión sobre el sistema.

Lo anterior se evidencia con la disminución en la superficie del espejo de agua del 29.61% en un periodo de 5 años. Lo que significa que los servicios ecosistémicos que provee el sistema desaparecerán en el corto plazo, si no se establecen claramente lineamientos y se incluye al sistema lagunar dentro de los planes de ordenamiento territorial y de manejo de la ciudad. Una de las formas de protegerlo para las generaciones futuras sería declarar el sistema como Área Natural Protegida a nivel estatal.

Por otra parte, los estudios de paisaje que se han hecho en México se han enfocado principalmente en ecosistemas de selvas y bosques húmedos, por lo que este es el primero que se realiza en humedales de zonas áridas, que son de los ecosistemas costeros más impactados por las actividades humanas, debido no solo al crecimiento de las ciudades, sino también a la poca agua existente en estas zonas del país.

En el caso del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre existen unidades de paisaje atractivas y con potencial eco-turístico y de conservación. Sin embargo, las restricciones normativas y el desconocimiento de la existencia de este sistema de humedales por parte de la población complican su manejo y apropiación.

Por lo que la información generada a través de este estudio podrá usarse para el diseño del manejo de cauces, actividades eco-turísticas de bajo impacto, así como la propuesta de actividades socio-culturales y de educación ambiental. Aunado a esto, se proponen nuevos estudios que evalúen el cambio en el paisaje centrados tanto en el espejo de agua como en la vegetación nativa con el propósito que la población conozca, se apropie y posteriormente ayude en la conservación y protección del sistema lagunar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera-Fernández, I., Batista-Legrá, Y., Bastola, S., & Rojas-Purón, L. (2016). Impacto visual generado por la explotación minera en el yacimiento Punta Gorda, Moa. *Minería y Geología*, 32(4), 141–159.
- Aguilera - Fernández, I., Batista - Legrá, Y., Bastola, S., & Rojas - Purón, L. (2016). Impacto visual generado por la explotación minera en el yacimiento Punta Gorda , Moa. *Minería y Geología*, 32(4), 141–159.
- Alberto, A., Martínez, A., Rodríguez, J. M., Hernández, A. C., Cortés Ballén, L. A., Muñoz-Pedreras, A., Moncada-Herrera, J., Gómez-Cea, L., Alfonso, F., Escudero, M., Blanco, J. H., Ríos, A. S., Casares, S. L., En, D., Desarrollo, E. L., Diagnóstico, C., Sistema, D. E. L., Parámetros, E. D. E., En, E., ... Rodríguez, J. (2014). Los paisajes de humedales, marco conceptual y aspectos metodológicos para su estudio y ordenamiento. *Revista Chilena de Historia Natural*, 85(1), 169–191.
<https://doi.org/10.4067/S0716-078X2012000100006>
- Andrade, G. (anfitrión), & Vilarity, S. (2020). *Proteger los humedales: un factor clave para cumplir los ODS. (Capítulo 22)*. Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina. https://www.spreaker.com/user/centroods/proteger-humedales-cumplir-ods?sp_action=episode-like&utm_campaign=episode-like&utm_medium=app&utm_source=widget
- Arroyo-Rodríguez, V. (2019). Ecología de paisajes fragmentados. In *Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y sustentabilidad (IIES)*.
- Arroyo-Rodríguez, V., Moreno, C. E., & Galán-Acedo, C. (2017). La ecología del paisaje en México: logros, desafíos y oportunidades en las ciencias biológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.004>
- Athukorala, D., Estoque, R. C., Murayama, Y., & Matsushita, B. (2021). Impacts of urbanization on the Muthurajawela marsh and Negombo lagoon, Sri Lanka: Implications for landscape planning towards a sustainable urban wetland ecosystem. *Remote Sensing*, 13(2), 1–22. <https://doi.org/10.3390/rs13020316>

- Baeza-Herrera, O., Calderón-Aguilera, C., Ley-Guing, J. A., González, A. M., Robles-Cairo, C., & Peimbert-Duarte, A. J. (2010). Modelo valorativo simple para jerarquizar componentes morfológicos. *International Conference Virtual City and Territory*. “6to. Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual.”
- Bagstad, K. J., Semmens, D. J., Waage, S., & Winthrop, R. (2013). A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation. *Ecosystem Services*, 5, 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.07.004>
- Balvanera, P. (2007). *Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos*. 85, 8–15. http://produccionbovina.com/regiones_ganaderas/27-Ecosist_del_Delta-2010.pdf
- Balvanera, P., & Cotler, H. (2009). Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. In P. Balvanera & H. Cotler (Eds.), *Capital Natural de Mexico, Estado de conservacion y tendencias de cambio: Vol. II* (pp. 185–245). Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/VolII/II04_EdoTendenciasServiciosEcosistemicos.pdf
- Balvanera, P., Uriarte, M., Almeida-Leñero, L., Altesor, A., Declerck, F., Gardner, T., Hall, J., Lara, A., Laterra, P., Peña-Claros, M., Silva Matos, D. M., Vogl, A. L., Romero-Duque, L. P., Arreola, L. F., Caro-Borrero, A. P., Gallego, F., Jain, M., Little, C., Xavier, R. de O., ... Vallejos, M. (2012). Ecosystem services research in Latin America : The state of the art. *Ecosystem Services*, 2, 56–70. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.09.006>
- Barberousse, P. (2008). Fundamentos teóricos del pensamiento complejo de Edgar Morín. *Revista Educare*, XII(2), 95–113.
- Barbier, E. B. (2011). Wetlands as natural assets. *Hydrological Sciences Journal*, 56(8), 1360–1373. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.629787>
- Barrera Mejía, H., Leyva Camacho, O., & Garate Carrillo, A. C. (2020). Paulatina transformación de la propiedad agraria en la zona metropolitana de Mexicali de 1990 a 2018 Su rol para los proyectos inmobiliarios y para la expansión urbana.

- Decumanus*, 5(5), 1–22. <https://doi.org/10.20983/decumanus.2020.1.1>
- Beltramino, R. E. (2006). Los sistemas complejos. Las posiciones de Rolando García y de Friedrich A. Hayek. In Universidad Nacional Rosario (Ed.), *Sistemas complejos* (p. 16). Universidad del Centro Educativo Latinoamericano.
- Berlanga-Robles, C. A., Ruiz-Luna, A., & de la Lanza Espino, G. (2008). Esquema de clasificación de los humedales de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía. UNAM*, 66, 25–46.
- Bocco, G., Mendoza, M. E., Priego, Á., & Burgos, A. (2010). *La cartografía de los sistemas naturales como base geográfica para la planeación territorial* ((SEMARNAT) (Ed.); primera ed). Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).
- Brundtland, G. H. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común. In *Documentos de las Naciones Unidas*. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Informe+de+la+comision+mundial+sobre+el+medio+ambiente+y+el+desarrollo.+nuestro+futuro+comun#5>
- Caldelas-Rojas, R. I. (2017). Carácter del paisaje del Valle de Mexicali. In F. A. Martínez-Sánchez, K. M. Hinojosa de la Garza, & A. Alonso-Navarrete (Eds.), *En: Arte, historia y cultura. Nuevas aproximaciones al conocimiento del paisaje* (pp. 219–243). Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco,.
- Camacho-Valdez, V., & Ruiz-Luna, A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. Artículo de Revisión. *Revista Bio Ciencias Enero*, 1(4), 3–15.
- Cano-Cancela, A. (2011). *Sistemas de Lotka-Volterra en dinámica poblacional*. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Castro, A. J., Quintas-Soriano, C., García-Llorente, M., Cabello, J., & Castro, H. (2013). Avanzando sobre el cómo, el dónde y el por qué de los problemas del agua en

- ambientes semiáridos: los servicios de los ecosistemas como aproximación. *Revista Eubacteria*, 31, 1–8.
- Centro de Biología Molecular Severo Ochoa. (2018). *Humedales. Servicios de los ecosistemas. Depuración de Aguas Residuales. Ficha informativa 5 de 10*.
- CEPAL. (2000). *Objetivos del Desarrollo del Milenio*. ONU.
<https://www.cepal.org/es/temas/objetivos-de-desarrollo-del-milenio-odm/acerca-odm>
- Cervantes, M. (2007). Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México. *Los Ecenarios Acuáticos, Ci*, 37–67.
- Colombiana, C. (2018). *Estudio de impacto ambiental proyecto Alférez San Marcos*.
- CONAGUA. (2014). *Ley de Aguas Nacionales y su reglamento*.
- CONAGUA. (2016). *Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)*. Gobierno de México. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/>
- CONANP. (2012). *Los humedales en México*.
http://ramsar.conanp.gob.mx/la_conanp_y_los_humedales.php
- Contreras-Delgado, C. (2005). Pensar el paisaje. Explorando un concepto geográfico. *Trayectorias*, VIII(17), 57–69.
- Contreras, J., Martín-Barajas, A., & Herguera, J. C. (2005). Subsidence of the Laguna Salada Basin, northeastern Baja California, Mexico, inferred from Milankovitch climatic changes. *Geofísica Internacional*, 44(1), 103–111.
- COP13, R. (2018). *Proyecto de resolución sobre la evaluación rápida de los servicios y funciones de los ecosistemas de humedales*.
- Corona, E. A., & Rojas, R. I. (2008). Calidad del aire y su incorporación en la planeación urbana : Mexicali, Baja California, México. *Estudios Fronterizos*, 20, 79–102.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-69612009000200003

- Cortés-Ballén, L. A. (2017). Aproximación al paisaje de los humedales urbanos de Bogotá dentro de la estructura ecológica principal de la ciudad. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 27(1), 118–130.
<https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n1.60584>
- Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- De Groot, R., Stuip, M., Finlayson, M., & Davidson, N. (2007). *Valoración de humedales. Lineamientos para valorar los beneficios de los servicios de los ecosistemas de humedales.*
- de la Fuente, V. G. (2014). *Estudios de paisaje: ámbitos y aplicaciones prácticas.* Comunidad Ism. <http://www.comunidadism.es/blogs/estudios-de-paisaje-ambitos-y-aplicaciones-practicas>
- de la Fuente, V. G. (2015a). *Ejercicio práctico. Unidad 12.*
- de la Fuente, V. G. (2015b). *Unidad III: Métodos de análisis y evaluación visual del paisaje.*
- De La Maza-Benignos, M., Ma. de Lourdes, L.-V., & Carson, E. W. (eds. . (2014). Conservación de humedales desérticos y su biota. In *Publicaciones Especiales. Museum of Southwestern Biology, PRONATURA Noroeste, Universidad de Nuevo León* (Vol. 1, Issue 1).
- Defra. (2007). An introductory guide to valuing ecosystem services. *Defra*, 68.
<https://doi.org/10.1111/j.1468-0327.2007.00195.x>
- Domínguez-Tapia, H. A. (2011). *La legendaria Laguna México Proyecto estratégico de recreación en Mexicali, Baja California* (Issue 1564 1616). Universidad Iberoamericana.
- EsMartCity. (2018). *El 'metabolismo urbano' para alcanzar la sostenibilidad y la*

- resiliencia, una propuesta para repensar las ciudades*. 07/09/2018.
<https://www.esmartcity.es/2018/09/07/metabolismo-urbano-alcanzar-sostenibilidad-resiliencia-propuesta-repensar-ciudades>
- Estrada-Loreto, F., Barba-Macías, E., & Ramos-Reyes, R. (2013). Cobertura temporal de los humedales en la cuenca del Usumacinta, Balancán, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 29(2), 141–151.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792013000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. (2005). *Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua. Informe de síntesis* (W. R. Institute (Ed.)). World Resources Institute.
- Festus, O. O., Wie, J., & Zubair, A. O. (2019). Characterizing the landscape structure of urban wetlands using terrain and landscape indices. *Land*, 9(29), 1–25.
- Friedman-Buenfil, J. (editor). (2009). Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México. In *Volumen I, SEMARNAT-INE*.
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Adaptaci+n+a+los+impactos+del+cambio+clim?tico+en+los+humedales+costeros+del+Golfo+de+M?xico#0%5Cnhttp://www2.ine.gob.mx/publicaciones/download/609.pdf>
- Galicia-Sarmiento, L., García-Romero, A., Gómez-Mendoza, L., & Ramírez, I. M. (2007). Cambios de uso de suelo y degradación ambiental. *Revista Ciencia*.
<https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/index.php/82-vol-58-num-4-octubre-diciembre-2007/comunicaciones-libres/135-cambio-de-uso-del-suelo-y-degradacion-ambiental>
- Gallopín, G. (2003). Medio Ambiente y Desarrollo. In *Revista Desarrollo y Sociedad* (Issue 64).
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5763/S033120_es.pdf?sequence=1
- García-Díaz, A. D., & Ojeda-Revah, L. (2013). La Reserva de la Biosfera Alto Golfo de

- California y Delta del Río Colorado : planeación territorial. *Region y Sociedad*, XXV(961), 57–85.
- García-Hernández, J., Zamora, F., & Ramírez, J. (2009). *Primer Reporte Parcial Proyecto “ Análisis de la calidad del agua en la Ciénega de Santa Clara para identificar los posibles daños ambientales derivados de la puesta en operación de la planta desalinizadora de Yuma, Arizona.”*
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema climático de Köppen* (I. de Geografía-UNAM (Ed.); 5a ed.).
- Gardner, R., Barchiesi, S., Beltrame, C., Finlayson, C., Galewski, T., Harrison, I., Paganini, M., Perennou, C., Pritchard, D., Rosenqvist, A., & Walpole, M. (2015). Estado de los humedales del mundo y de los servicios que presentan a las personas: una recopilación de un análisis reciente. In *Convención sobre los Humedales Ramsar* (Vol. 7). <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/>
- Gardner, R. C., & Finlayson, C. M. (2018a). Perspectiva Mundial Sobre los Humedales: Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas. *Convención Ramsar Sobre Los Humedales*, 88. https://www.ramsar.org/sites/default/files/flipbooks/ramsar_gwo_spanish_web.pdf
- Gardner, R. C., & Finlayson, C. M. (2018b). *Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas*. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/gwo_s.pdf
- Geología, D. de U. (2006). *Conglomerados y Brechas*. https://sivea.uson.mx/docentes/tareas/8_CONGLOMERADOS_Y_BRECHAS_I.pdf
- Gobierno del Estado de Baja California. *Edafología*. (2015). http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/recursos/edafologia.jsp
- Gobierno del Estado de Baja California. (2014). http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/municipios/mexicali/mexicali.jsp

- Granillo, M. I., Lazo-de la Vega, A., Martínez-Ríos, L. I., Peynador, C., & Gómez-León, D. . (2012). Componente II: Proceso de planificación para la conservación de sitios (PCS) para los humedales Ramsar de Baja California. In S. de P. al ambiente del Estado de B. California, A. Pro Esteros, & C. M. de E. para la Conservación (Eds.), *Diagnóstico y restauración de los humedales Ramsar de Baja California* (Segunda Ed, p. 183).
- Guerra-Vargas, L. A., & Mancera-Pineda, J. E. (2015). Evaluación de amenazas antropogénicas en ecosistemas de playa en San Andrés, una isla pequeña del Caribe Suroccidental. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 44(1), 33–54.
- Higueras, E. (2009). La ciudad como ecosistema urbano. *El Reto de La Ciudad Habitable y Sostenible*, 10.
- Hinojosa-Huerta, O., & Carrillo-Guerrero, Y. (2010a). Capítulo: La Cuenca Binacional del Río Colorado. In C. H. C. Ávalos (Ed.), *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización* (1a edición, pp. 180–189). INECC.
http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=639
- Hinojosa-Huerta, O., & Carrillo-Guerrero, Y. (2010b). La cuenca binacional del Río Colorado. In H. Cotler-Ávalos (Ed.), *Las Cuencas Hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización* (primera ed, pp. 162–164). Pluralia Ediciones e Impresiones. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2011/02/CuencasHidrograficas-1.pdf>
- Hinojosa-Huerta, O., Guzmán-Olachea, R., Butrón-Méndez, J., Butrón-Rodríguez, J. J., & Calvo-Fonseca, A. (2013). Status of marsh birds in the wetlands of the Colorado River delta, Mexico. *Ecological Engineering*.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.058>
- Hinojosa-Huerta, O., Iturribarría-Rojas, H., Carrillo-Guerrero, Y., de la Garza-Treviño, M., & Zamora-Hernández, E. (2004). *Bird Conservation Plan for the Colorado River Delta*. Pronatura Noroeste, Dirección de Conservación de Sonora.
- Hinojosa-Huerta, O., Soto-Montoya, E., Gómez-Sapiens, M., Calvo-Fonseca, A., Guzmán-

- Olachea, R., Butrón-Méndez, J., Butrón-Rodríguez, J. J., & Román-Rodríguez, M. (2013). The Birds of the Ciénega de Santa Clara, a wetland of international importance within the Colorado River Delta. *Ecological Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.03.005>
- Howard, G. (2007). *Humedales. Servicios de los ecosistemas. Reposición de aguas subterráneas. Ficha informativa 2 de 10.*
- INEGI. (2001). *Síntesis de información geográfica del Estado de Baja California. Apartado 3. Fisiografía.* <https://doi.org/10.1145/2505515.2507827>
- INEGI. (2011a). *Síntesis de información geográfica del estado de Baja California. Apartado 5. Geología.* <https://doi.org/10.1145/2505515.2507827>
- INEGI. (2011b). *Síntesis de información geográfica del estado de Baja California. Apartado 7. Suelos.* <https://doi.org/10.1145/2505515.2507827>
- Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Mexicali. IMIP. (2007). *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Mexicali 2015.*
- Instituto Nacional de Geografía e Informática. (2021). *Censo de población y vivienda 2020.* <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html>
- Jácome-Ibarra, M., & Leyva-Camacho, O. (2015). *El Sistema Lagunar Xochimilco-México. Un sitio Ramsar dentro de la ciudad de Mexicali.* TYS Magazine. <http://www.tysmagazine.com/el-sistema-lagunar-xochimilco-mexico-un-sitio-ramsar-dentro-de-la-ciudad-de-mexicali/>
- Jácome Ibarra, M., Leyva Camacho, O., & De la Fuente de Val, G. (2022). Estudio del paisaje del sistema lagunar México-Xochimilco-Campestre. Un sitio Ramsar dentro de una ciudad desértica del Noroeste de México. *Revista de Ciencias Tecnológicas*, 5(1), 57–79. <https://doi.org/10.37636/recit.v5i15779>
- Kumar, R., McInnes, R. J., Gardner, R. C., Kulindwa, K. A. ., Wittmer, H., & Infante Mata, D. (2017). *Integración de los múltiples valores de los humedales en la toma de decisiones.*

- La Convención de Ramsar*. (2014). <http://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-convención-de-ramsar-y-su-misión>
- LALI. (2012). *La iniciativa latinoamericana del paisaje. The latin american landscape initiative*.
- Larrouyet, M. C. (2015). Desarrollo sustentable: origen, evolución y su implementación para el cuidado del planeta. *Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de La Universidad Nacional de Quilmes*, 46.
https://ridaa.unq.edu.ar/bitstream/handle/20.500.11807/154/TFI_2015_larrouyet_003.pdf?sequence=1
- Li, Y., Zhu, X., Sun, X., & Wang, F. (2010). Landscape effects of environmental impact on bay-area wetlands under rapid urban expansion and development policy: A case study of Lianyungang, China. *Landsc. Urban Planning*, 94(3–4), 218–227.
- Li, Z., Jiang, W., Wang, W., Chen, Z., Ling, Z., & Lv, J. (2020). Ecological risk assessment of the wetlands in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Ecological Indicators*, 117, 106677. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2020.106677>
- Liu, A. J., & Cameron, G. N. (2001). Analysis of landscape patterns in coastal wetlands of Galveston Bay, Texas (USA). *Landsc. Ecol.*, 16, 581–595.
- Liu, G., Zhang, L., Zhang, Q., Musyimi, Z., & Jiang, Q. (2014). Spatio-temporal dynamics of wetland landscape patterns based on remote sensing in yellow river delta, China. 2014, 34,. *Wetlands*, 34(4), 787–801.
- López-Contreras, C., Collantes-Chávez-Costa, A. L., Barrasa-García, S., & Alanís-Rodríguez, E. (2019). Bases conceptuales y métodos para la evaluación visual del paisaje. *Agrociencia*, 53(7), 1085–1104.
- Manzano-Hoyos, C. J. (2015a). *Cómo fortalecer el análisis FODA en la formulación de estrategias*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Manzano-Hoyos, C. J. (2015b). *Cómo fortalecer el análisis FODA en la formulación de estrategias*. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Margalef, R. (1976). La teoria de la informació en Ecologia, a vint anys de distància. *Conferencia Inaugural de Les Sessions Científiques Del Curs 1976-77 de La Societat Catalana de Biologia, Filial de L'Institut D'Estudis Catalans*, 36.
- Márquez-Huitzil, R., & Peters-Recagno, E. M. (2008). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) – Versión 2006-2008*.
- Martín-González, F., Carreño Conde, F., & De Pablo, M. A. (2007). Application of Landsat images (TM and ETM+) in geostructural studies in the NW Iberian Massif. *Cadernos Do Laboratorio Xeoloxico de Laxe*, 32(32), 47–62.
- Martinez-Castaño, C. A. (2013). Los Pilares Del Desarrollo Sostenible Sofisma O Realidad. In *Proyecto de Virtualización VUAD* (Issue 12). <http://soda.ustadistancia.edu.co/enlinea/eduvirtual/TextosDigitales/Desarrollo-Sostenible/files/assets/downloads/publication.pdf>
- Martínez, A. A. A., Rodríguez, J. M., & Cabrera-Hernández, A. (2014). Los paisajes de humedales, marco conceptual y aspectos metodológicos para su estudio y ordenamiento. *Mercator*, 13(2), 169–191.
- Martinez, A., & Rodriguez, J. (2015). Clasificación De Humedales Con Enfoque De Paisajes Y Su Aplicación En El Caso De La Provincia De Matanzas (Cuba). *Revista Eletrônica AGB-TL*. <http://seer.ufms.br/index.php/RevAGB/article/view/1419>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J. B. R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M. I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M., & [eds], T. W. (2018). Resumen para responsables de políticas. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir . In *Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Mateo-Rodríguez, J. M. (2006). La concepción sobre los paisajes vista desde la Geografía. *Boletim de Geografia*, 24(1), 1–25.

- McGrath, M. (2015). *COP21: 6 preguntas para entender por qué es tan importante la cumbre del cambio climático en París*. 30 Noviembre 2015.
http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/11/151129_cumbre_paris_cop21_guia_az
- McInnes, R. J., & Everard, M. (2017). Rapid Assessment of Wetland Ecosystem Services (RAWES): An example from Colombo, Sri Lanka. *Ecosystem Services*, 25(2013), 89–105. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.03.024>
- Metabolismo urbano y gestión de recursos*. (2015). Bioazul.
<https://www.bioazul.com/metabolismo-urbano-y-gestion-de-recursos/>
- Mondal, B., Dolui, G., Pramanik, M., Maity, S., Biswas, S., & Pal, R. (2017). Urban expansion and wetland shrinkage estimation using a GIS-based model in the East Kolkata Wetland, India. *Ecol. Indic*, 83, 62–73.
- Muñoz-Criado, A. (2012). *Guía Metodológica. Estudios de Paisaje* (T. y M. A. Conselleria de Infraestructuras (Ed.)). La imprenta CG.
- Muñoz-Pedrerros, A., Moncada-Herrera, J., & Gómez-Cea, L. (2012a). Evaluación del paisaje visual en humedales del Río Cruces, sitio Ramsar de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 85(1), 73–88. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2012000100006>
- Muñoz-Pedrerros, A., Moncada-Herrera, J., & Gómez-Cea, L. (2012b). Evaluación del paisaje visual en humedales del río Cruces, sitio Ramsar de Chile Assessment of wetland visual landscape in the Cruces River, Ramsar site of Chile. In *Revista Chilena de Historia Natural* (Vol. 85).
- NaturaLista. (2017). *Proyecto: Complejo lagunar Xochimilco-México-campestre*. NaturaLista.
https://www.naturalista.mx/observations?place_id=6793&project_id=36929&subview=table&view=species&iconic_taxa=Plantae
- Nijkamp, P., van den Bergh, C. J. M., & Soetema, F. J. (1990). Regional sustainable development and natural resource use. *The World Bank Economic Review*, 4(1), 153–

188.

Odum, E. (1991). Roundtable Great ideas in ecology for the 1990s. *BioScience*, 42(7), 542–545.

Odum, E. P. (1972). *Ecología* (3a edición). Nueva Interamericana.

OMM. (2021). *Temperaturas promedio globales*. Organización Meteorológica Mundial. <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-2020-es-uno-de-los-tres-años-más-cálidos-registrados>

ONU. (2022). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

Organización de las Naciones Unidas -ONU-. (1992). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río de Janeiro, Brasil*. Conferencia Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/es/conferences/environment/rio1992>

Plan general de ordenación urbana de Catarroja (Valencia) (Vol. 02, Issue febrero). (2011).

PNUD. (2000). *Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS)*. Programa de Las Naciones Unidas Para El Desarrollo. [https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals#:~:text=de Desarrollo Sostenible%3F-,Los Objetivos de Desarrollo Sostenible \(ODS\)%2C también conocidos como,disfruten de paz y prosperidad.](https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals#:~:text=de Desarrollo Sostenible%3F-,Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)%2C también conocidos como,disfruten de paz y prosperidad.)

Ponce, H. (2006). La matriz FODA : una alternativa para realizar diagnósticos y determinar estrategias de intervención en las organizaciones productivas y sociales. *Contribuciones a La Economía*, 16.

Pozo Antonio, J. S. (2011). Valoración del paisaje aplicada a la ingeniería de taludes. *Observatorio Medioambiental*, 14(0), 41–67. https://doi.org/10.5209/rev_obmd.2011.v14.37289

- Ramsar. (2006). *Humedales : en peligro de desaparecer en todo el mundo*. 78.
<http://www.ramsar.org>
- Ramsar. (2015a). Servicios de los ecosistemas de humedales. Introducción. In *Convención sobre los humedales*.
https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/services_00_s.pdf
- Ramsar. (2015b). *Servicios de los ecosistemas de humedales*.
https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/services_00_s.pdf
- Ramsar, C. (2008). *Servicios de información sobre sitios Ramsar*. Sistema de Humedales Remanentes Del Río Colorado. <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1822>
- Ramsar, C. (2016). *Cuarto Plan Estratégico para 2016 – 2024*.
- Ramsar, C. (2017). *Conservar y restaurar: formas prácticas en que las ciudades pueden manejar y conservar los humedales urbanos* (p. 1).
- Ramsar, S. de la C. de. (2014). *La Convención de Ramsar*. <http://www.ramsar.org/es/>
- Riechmann, J. ; (1995). De la economía a la ecología. *De La Economía a La Ecología, 1972*, 1–20. <https://istas.ccoo.es/descargas/desost.pdf>
- Rivera Hernández, J. E., Blanco Orozco, N. V., Alcántara Salinas, G., Pascal Houbbron, E., & Pérez Sato, J. A. (2017). ¿Desarrollo sostenible o sustentable? La controversia de un concepto | Posgrado y Sociedad Revista Electrónica del Sistema de Estudios de Posgrado. *Volumen 15, Número 1, 2017*, 57–67.
<https://revistas.uned.ac.cr/index.php/posgrado/article/view/1825/2067>
- Rogers, D. (2005). *Humedales. Servicios de los ecosistemas. Retención y exportación de sedimentos y nutrientes. Ficha informativa 4 de 10*.
- Rueda, S. (n.d.). Un nuevo urbanismo para una ciudad más sostenible. *I Encuentro de Redes de Desarrollo Sostenible y de Lucha Contra El Cambio Climático*, x, 1–13.
- Rueda, S. (1996). Periurbanización y complejidad de los sistemas urbanos. *Seminario "La Ciudad Dispersa. Suburbanización y Nuevas Periferias"*. www.cccb.es

- Ruiz-García, W. (2016). *Evaluación de la calidad visual del paisaje en el frente costero de la ciudad de Ensenada, Baja California*. Universidad Autónoma de Baja California.
- Salazar-Briones, C. (2018). *Planeación urbana y gestión de riesgo de inundación en ciudades de zonas semiáridas del Noroeste de México, caso de estudio: Mexicali Baja California*. Universidad Autónoma de Baja California.
- Salazar-Briones, C., Hallack-Alegría, M., Mungaray-Moctezuma, A., Lomelí, M. A., Lopez-Lambraño, A., & Salcedo-Peredia, A. (2018). Hydrological and hydraulic modeling of an intra-urban river in a transboundary basin using a regional frequency analysis. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 9(4), 48–74. <https://doi.org/10.24850/jtyca-2018-04-03>
- Samaniego López, M. A. (2008). El control del río Colorado como factor histórico: La necesidad de estudiar la relación tierra/ agua. *Frontera Norte*, 20(40), 49–78. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73722008000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2013). Manual de la Convención de Ramsar. Guía a la convención sobre los humedales (Ramsar, Irán, 1971). In *Secretaría de la Convención Ramsar: Vol. 6a edición*. <http://www.ramsar.org>
- SEMARNAT. (2015). *Política Nacional de Humedales*.
- Silva, S., Sanchez, A., & Pérez, R. (2016). Los servicios ambientales ante un cambio de paradigma. *Revista Latinoamericana El Ambiente y Las Ciencias*, 34(December), 155–166. Ciencias ambientales; Epistemología; Pago por servicios ambientales; Servicios ecosistémicos
- Soler, Y. B. (2017). Teorías sobre los Sistemas Complejos. *Revista A&D*, 47(2), 59–69. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6403420>
- ten Brink, P., Russi, D., Farmer, A., Badura, T., Coates, D., Förster, J., Kumar, R., & Davidson, N. (2013). *La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad relativa al agua y los humedales. Resumen ejecutivo*.

- Tiner, R. W. (1997). *Technical Aspects of Wetlands. Wetland Definitions and Classifications in the United States* (No. 2425; United States Geological Survey Water Supply Paper).
- Travieso-Bello, A. (2009). La legislación aplicable a los sitios Ramsar en México. *Letras Jurídicas*, 20, 1–14. <http://www.letrasjuridicas.com/Volumenes/20/travieso20.pdf>
- Urquijo, P. S., & Bocco, G. (2011). Los estudios de paisaje y su importancia en México, 1970-2010. *Journal of Latin American Geography*, 10(2), 37–63.
- Valdés-Tejera, E. (2017). *La apreciación estética del paisaje: naturaleza, artificio y símbolo*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Vargas-Abarzúa, E., & Zúñiga-Molinier, L. (2010). Tiempo y sucesión ecológica en Ramón Margalef. *Arbor, Ciencia, Pensamiento y Cultura*, 741, 163–171. <https://doi.org/10.3989/arbor.2010.741n1016>
- Villanueva-Solís, J. (2015). *Adaptación y mitigación de la isla de calor urbana y la planeación urbana sustentable, el caso de Mexicali*, B. C. Universidad Autónoma de Baja California.
- Walker, L. R. (2005). Margalef y la sucesión ecológica. *Ecosistemas*, 14(1), 66–78.
- Wallace, K. J. (2007). Classification of ecosystem services: Problems and solutions. *Biological Conservation*, 139(3–4), 235–246. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.07.015>
- Walther, A. (1991). *Origen de Mexicali* (2a ed.). Universidad Autónoma de Baja California.
- WenPeng, Lin, JiaWei, Cen, Di, Xu, ShiQiang, Du, & Gao, J. (2018). Wetland landscape pattern changes over a period of rapid development (1985–2015) in the ZhouShan Islands of Zhejiang province, China. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 213, 148–159.
- Wilson, J. L., & Guan, H. (2004). Mountain-Block Hydrology and Mountain-Front Recharge *. In F. M. Phillips, J. Hogan, & B. Scanlon (Eds.), *Groundwater Recharge*

in a desert environment: The Southwestern United States (pp. 113–137).

Zamora-Arroyo, F., Pitt, J., Cornelius, E. G., Hinojosa-Huerta, O., Moreno, M., García, J., Nagler, P., de la Garza, M., & Parra, I. (2005). *Prioridades de conservación en el Delta del Río Colorado, México y Estados Unidos*. Sonoran Institute, Environmental Defense, University of Arizona, Pronatura Noroeste Dirección de Conservación Sonora, Centro de Investigación en alimentación y Desarrollo, World Wildlife Fund-Programa Golfo de California e Instituto Nacional de Ecología Se.

Zarta-Ávila, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa, Enero-Juni*, 409–423.

<https://doi.org/https://doi.org/10.25058/20112742.n28.18> Plinio

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de evaluación de los sistemas ecosistémicos sobre el terreno.

Ficha de evaluación sobre el terreno						
Nombre del humedal:						
Coordenadas GPS:						
Fecha:						
Nombre del evaluador:						
Valor	Significado					
++	Posible contribución positiva significativa					
+	Posible contribución positiva					
0	Contribución insignificante					
-	Posible contribución negativa					
--	Posible contribución negativa significativa					
¿?	Lagunas en los conocimientos					
			Escala de beneficio			
		Valor	Descripción de los beneficios	Local	Regional	Mundial
De suministro	Agua dulce					
	Alimentos					
	Combustible					
	Fibras					
	Recursos genéticos					
	Medicinas o productos farmacéuticos naturales					
	Recursos ornamentales					
	Extracción de arcilla, mineral, áridos					
	Eliminación de residuos					
	Explotación de la energía eólica e hidráulica					
Servicios de regulación	Regulación de la calidad del aire					
	Regulación del clima local					
	Regulación del clima mundial					
	Regulación hídrica					
	Regulación de los peligros de las inundaciones					
	Regulación de los peligros de las tormentas					
	Regulación de plagas					
Regulación de enfermedades humanas						

	Regulación de enfermedades animales					
	Regulación de la erosión					
	Depuración del agua					
	Polinización					
	Regulación de la salinidad					
	Regulación del fuego					
	Amortiguación del ruido o barrera visual					
Servicios culturales	Patrimonio cultural					
	Recreo y turismo					
	Valor estético					
	Valor espiritual y religioso					
	Valor como fuente de inspiración					
	Relaciones sociales					
	Educación e investigación					
Servicios de soporte	Formación de suelos					
	Producción primaria					
	Ciclo de nutrientes					
	Reciclado del agua					
	Provisión del hábitat					
Notas:						

Anexo 2. Lista de preguntas guía para la evaluación de los servicios ecosistémicos de los humedales, consideradas en la metodología RAWES. (Modificado de COP13, 2018)

	Servicio del ecosistema	Ejemplo	Preguntas guías para los evaluadores
Servicios de suministro	Suministro de agua dulce	Agua utilizada para uso doméstico, riego, ganado, etc.	¿El humedal proporciona una fuente de agua dulce? ¿El humedal almacena agua dulce para uso humano? ¿El humedal es una fuente neta de contaminación y degrada el suministro de agua dulce?
	Suministro de alimentos	Cultivos, fruta, pescado, etc.	¿Qué crece en el humedal, ya sea cultivado formalmente o recolectado de manera informal? ¿Se extraen animales del humedal? ¿El ganado utiliza el humedal?
	Suministro de fibras	Madera para la construcción, lana para elaborar ropa, etc.	¿Se extrae del humedal algún material natural como madera, fibra, paja o fibra animal (lana/piel/tendones/cuernos o astas/otros)?
	Suministro de combustible	Leña, turba, etc.	¿Se extrae del humedal algún material que se utilice como combustible para uso doméstico u otros usos?
	Suministro de recursos genéticos	Variedades o razas poco comunes utilizadas para la mejora vegetal o la cría de ganado, etc.	¿Existen variedades o razas autóctonas o poco comunes de plantas y animales silvestres o domesticados que puedan aportar diversidad genética para usos humanos (p. ej., para la elaboración de medicinas, el aumento de la resiliencia de plantas y animales domésticos, el comercio hortícola, etc.)?
	Suministro de medicinas y productos farmacéuticos naturales	Plantas utilizadas en la medicina tradicional, etc.	¿Se extraen y utilizan plantas, animales o partes de estos derivados del humedal por sus propiedades medicinales?
	Suministro de recursos ornamentales	Recolección de flores, conchas, etc.	¿Se recolectan plantas, animales o partes de estos derivados del humedal y se utilizan o venden por sus propiedades ornamentales?
	Extracción de arcilla, mineral y áridos	Arena y grava para la construcción, arcilla para elaborar ladrillos	¿Qué sustancias se extraen del humedal para la construcción u otros usos humanos?
	Eliminación de residuos	Eliminación de residuos sólidos o de aguas residuales	¿El humedal constituye un lugar donde eliminar materiales de desechos sólidos, líquidos o de otro tipo?
	Extracción de energía de los	Norias impulsadas por el agua en movimiento,	¿Se utiliza alguna tecnología (norias, aero-generadores, etc.) para captar los

	flujos naturales del aire y del agua	aerogeneradores impulsados por el viento	flujos naturales de energía a través del humedal?
Servicios de Regulación	Regulación de la calidad del aire	Eliminación de partículas aéreas de los tubos de escape de los vehículos, las chimeneas industriales, el polvo de las tierras agrícolas, etc. Regulación	¿Hay alguna fuente de contaminantes aéreos? ¿La estructura del hábitat del humedal contribuye al asentamiento de contaminantes aéreos? ¿El estado del humedal hace que sea una fuente de contaminantes aéreos (microbios, partículas o sustancias químicas)?
	Regulación del clima local	Regulación del microclima local mediante el sombreado, la reducción de la temperatura del aire, etc.	¿La estructura del hábitat del humedal proporciona sombra para las personas? ¿El humedal tiene zonas de aguas estancadas con o sin vegetación que generen evapotranspiración y por lo tanto reduzcan la temperatura del aire?
	Regulación del clima mundial	Regulación del clima mundial mediante el control de las emisiones de gases de efecto invernadero, el secuestro de carbono, etc.	¿El humedal almacena y/o secuestra carbono? ¿Compensa esto la generación de metano y otros gases de efecto invernadero?
	Regulación hídrica	Regulación del caudal de las aguas superficiales durante épocas de caudales altos y bajos, regulación o recarga de los acuíferos, etc.	¿La topografía, permeabilidad y lo accidentado del humedal permiten que este almacene agua durante las épocas de elevadas precipitaciones o descargas y la libere lentamente a las aguas superficiales o el acuífero? ¿El humedal regula la descarga durante las épocas secas para servir de amortiguador de los caudales bajos durante las épocas de sequía?
	Regulación de los peligros de las inundaciones	Regulación y almacenamiento del agua de las inundaciones, regulación de lluvias torrenciales, etc.	¿El humedal regula, almacena y retiene las aguas de inundación? ¿El humedal almacena las aguas de lluvia y las aguas de superficie que podrían contribuir a inundaciones y daños a propiedades o ecosistemas aguas abajo?
	Regulación de los peligros de las tormentas	Regulación de mareas de tempestad o de otro tipo, regulación de vientos extremos, etc.	¿La complejidad del hábitat, particularmente los árboles, los carrizos altos y otros tipos de vegetación además de la topografía superficial del sitio absorben energía de los eventos extremos tales como tormentas y olas que de otro modo podrían causar daños a propiedades o ecosistemas contiguos?
	Regulación de plagas	Control de especies plaga como mosquitos, ratas, moscas, etc.	¿La predación natural y otros procesos ecológicos en el humedal regulan y controlan organismos que son plagas?

			¿El humedal es fuente de plagas (p. ej., ratas que viven en sistemas de aguas sucias)?
Servicios de Regulación	Regulación de enfermedades humanas	Presencia de especies que controlan las especies (vectores) que transmiten enfermedades humanas como la malaria, la fiebre del Nilo occidental, el dengue, el virus Zika, la leptospirosis, la esquistosomiasis, etc.	¿La predación natural y otros procesos ecológicos en el humedal regulan a los organismos que pueden provocar enfermedades humanas? ¿Los procesos que tienen lugar en el humedal inmovilizan depósitos fecales, bacterias u otros microbios potencialmente patógenos? ¿El estado del humedal contribuye a la proliferación de poblaciones de vectores de enfermedades (p. ej., mosquitos)?
	Regulación de la erosión	Regulación del entorno energético para reducir el riesgo de erosión, presencia de vegetación densa que protege el suelo, etc.	¿La vegetación del humedal protege el suelo de la erosión? ¿Hay signos de erosión (p. ej., tierra desnuda) en el humedal?
	Depuración del agua	Limpieza del agua, mejora de la calidad del agua, depósito de sedimentos, captación de contaminantes, etc. Polinización	¿Los procesos biológicos y físico-químicos (exposición a la luz del sol en las aguas someras, retención de agua en micro-hábitats aeróbicos y anaeróbicos) dan lugar a la descomposición de los contaminantes orgánicos, microbianos y de otro tipo en el agua que circula por el humedal? ¿Se depositan las partículas sólidas en suspensión? ¿Hay algún cambio observable en la calidad (p. ej., la turbidez) del agua que entra y sale del humedal?
	Polinización	Polinización de plantas y cultivos por abejas, mariposas, avispas, etc.	¿Las poblaciones de polinizadores (mariposas, avispas, abejas, murciélagos, etc.) del humedal contribuyen a la polinización en su interior? ¿Los polinizadores que utilizan el humedal contribuyen a polinizar los cultivos, jardines o parcelas vecinas, etc.?
	Regulación de la salinidad	El agua dulce del humedal constituye una barrera para el agua salada.	¿La hidrología del humedal contribuye a evitar que el agua salada contamine el agua dulce? ¿La presencia de agua dulce en el humedal evita la salinización del suelo? ¿Hay en los humedales mareales barreras elevadas o alteradas por los seres humanos (represas, carreteras,

			vías ferroviarias) que interrumpen la conectividad con el agua de las mareas?
Servicios de Regulación	Regulación del fuego	Proporcionar barreras físicas a la propagación del fuego, mantener condiciones húmedas para evitar la propagación del fuego, etc.	¿La configuración de los cursos de agua (canales, riachuelos o ríos, etc.) contribuye a evitar la propagación de los incendios? ¿Hay agua en la superficie del suelo o cerca de esta que restrinja la propagación del fuego? ¿Los suelos altamente orgánicos o los suelos de turba han sido drenados y por lo tanto son susceptibles a los arder en un incendio?
	Amortiguación del ruido o barrera visual	Los árboles o carrizos altos del humedal absorben y amortiguan el impacto del ruido.	¿Existe una fuente de contaminación acústica (carretera muy frecuentada, industria, construcción, etc.) y un receptor de esta (viviendas, especies silvestres, etc.)? ¿La estructura del ecosistema del humedal, particularmente los árboles y carrizos altos constituye una barrera visual además de suprimir la transmisión de los ruidos?
Servicios culturales	Patrimonio cultural	Importancia del humedal por su valor histórico o arqueológico, como ejemplo de usos o prácticas de gestión tradicionales, como paisaje cultural, etc.	¿El sistema del humedal reviste una importancia cultural, ya sea por sus características naturales o usos tradicionales?
	Recreo y turismo	Importancia del humedal por proporcionar un lugar para el recreo (p. ej., pesca, deportes acuáticos, baño) o como destino turístico, etc.	¿Se utiliza el humedal con fines de recreo de manera organizada o informal? ¿Existen infraestructuras para el acceso y el recreo? ¿De esos usos se derivan otros beneficios turísticos o eco-turísticos más amplios?
	Valor estético	Existen propiedades que tienen vistas al humedal, el humedal forma parte de una zona de belleza natural conocida, es fuente de inspiración para pintores y otros artistas, etc.	¿Brinda el humedal beneficios estéticos por ser un lugar junto al cual se desean construir viviendas de interés comercial? ¿La presencia del humedal tiene un impacto importante sobre los precios de la propiedad? ¿El humedal es representado en muchas obras de arte?
	Valor espiritual y religioso	El humedal desempeña un papel en fiestas religiosas locales, se considera un lugar	¿Qué valores espirituales o religiosos derivan las personas del humedal?

		sagrado o forma parte de un sistema tradicional de creencias, etc.	<p>¿El humedal tiene un valor espiritual o cultural importante para las personas?</p> <p>¿El humedal desempeña alguna función en ceremonias religiosas tradicionales?</p> <p>¿Existen prácticas tradicionales de gestión del humedal asociadas a este (p. ej., las fechas de plantación y recolección del arroz corresponden a tradiciones y enseñanzas budistas o de otras religiones)?</p>
Servicios culturales	Valor como fuente de inspiración	Presencia de mitos o historias locales sobre el humedal, cuentos tradicionales orales o escritos sobre este o los animales que habitan en él, creación de diferentes manifestaciones artísticas asociadas al humedal, creación de una arquitectura específica basada en el humedal, etc.	<p>¿Existen mitos u otros tipos de folklore asociados al humedal?</p> <p>¿En las historias y mitos locales aparece algún animal del humedal?</p> <p>¿El humedal inspira a las personas a componer música o realizar otras manifestaciones artísticas?</p> <p>¿Han surgido maneras específicas de diseñar y construir que reflejen el humedal?</p>
	Relaciones sociales	Presencia de comunidades pescadoras, ganaderas o agrícolas que se hayan desarrollado en el humedal y sus alrededores.	¿Se han formado comunidades en torno al humedal y sus usos, por ejemplo la pesca (de subsistencia, comercial y de recreo), la agricultura o la gestión de las poblaciones, el senderismo y el footing, la observación de aves y la fotografía, etc.?
	Educación e investigación Formación	Uso del humedal por los escolares locales con fines educativos, lugar de investigación y seguimiento a largo plazo, sitio visitado por excursiones educativas organizadas, etc.	<p>¿Se utiliza el humedal para algún fin educativo organizado o informal, desde visitas de escolares hasta la investigación y enseñanza universitaria?</p> <p>¿Existen materiales educativos o destinados a la sensibilización del público?</p>
Servicios de soporte	Formación de suelos	Deposición de sedimentos, acumulación de materia orgánica, etc.	¿Los procesos de acreción que se producen en el humedal (sedimentación del material mineral y acumulación de materia orgánica) dan lugar a la formación de suelos?
	Producción primaria	Presencia de productores primarios como plantas, algas, etc.	¿Los procesos fotosintéticos en el humedal producen materia orgánica y almacenan energía de forma bioquímica?
	Ciclo de los nutrientes	Fuente de nutrientes procedentes de los insumos de las tierras agrícolas, descomposición de material vegetal, aporte de nutrientes procedentes de las aguas de	<p>¿Los procesos del humedal transforman nutrientes bioquímicamente (p. ej., nitrificación o desnitrificación)?</p> <p>¿Se asientan los nutrientes en forma de partículas, cambiando las</p>

		inundación, presencia de fauna para reciclar nutrientes, etc.	características del agua que circula por el sistema del humedal? ¿Existen abundantes invertebrados y organismos detritívoros que descompongan y reciclen la materia orgánica?
Servicios de soporte	Reciclado del agua	La presencia de vegetación del humedal y aguas abiertas dan lugar a la evapotranspiración y el reciclado local del agua, los doseles relativamente cerrados y la poca exposición al viento retiene el agua en los ciclos locales, los substratos arenosos o gruesos permiten el intercambio con el acuífero, etc.	¿La estructura del humedal retiene agua en ciclos cerrados (p. ej., la captación del vapor producido por la evapotranspiración)? ¿El humedal permite que haya un intercambio con el acuífero (descarga o recarga)?
	Provisión de hábitat	Presencia de hábitats y especies importantes a escala local o amenazados, etc.	¿El humedal alberga una biodiversidad (plantas y animales) representativa a escala local? ¿El humedal alberga especies consideradas amenazadas o carismáticas? ¿Hay en el lugar plantas y animales invasores que suponen una amenaza para los servicios y/o funciones de los ecosistemas?

Anexo 3. Encuesta aplicada en el estudio de paisaje.

Estimado colaborador(a):

La siguiente encuesta forma parte de un proyecto de investigación sobre las lagunas que existen en la ciudad de Mexicali.

Tus respuestas ayudarán a conocer más sobre la percepción de la comunidad acerca de este tipo de ecosistemas en nuestra ciudad.

Se trata de una encuesta corta que no te tomará más de 10 minutos contestar.

Todos tus datos, referencias y respuestas serán completamente confidenciales y solo se usarán para fines de este proyecto.

¡Muchas gracias por tu participación!

Información personal

1.	Nombre completo:			
2.	Género	Masculino <input type="checkbox"/>	Otro <input type="checkbox"/>	_____
		Femenino <input type="checkbox"/>	Prefiero no contestar <input type="checkbox"/>	_____
3.	Edad	18-25 <input type="checkbox"/>	26-33 <input type="checkbox"/>	34-41 <input type="checkbox"/>
		42-49 <input type="checkbox"/>	50-57 <input type="checkbox"/>	58-65 <input type="checkbox"/>
		Más de 65 <input type="checkbox"/>		
4.	Escolaridad	Primaria <input type="checkbox"/>	Secundaria <input type="checkbox"/>	Carrera técnica <input type="checkbox"/>
		Preparatoria <input type="checkbox"/>	Universidad <input type="checkbox"/>	Posgrado <input type="checkbox"/>

Conocimiento sobre las lagunas que existen en Mexicali

5.	Actualmente ¿cuál es su relación con la ciudad de Mexicali y su Valle? Marque sólo una respuesta	Vivo aquí (pasa a la pregunta 6) <input type="checkbox"/>	Solo vengo de visita <input type="checkbox"/>	
		Solo trabajo aquí (pasa a la pregunta 6) <input type="checkbox"/>	Soy turista <input type="checkbox"/>	
		Solo estudio aquí (pasa a la pregunta 6) <input type="checkbox"/>		
6.	¿Cuántos años tiene viviendo/trabajando/estudiando en Mexicali?	Menos de un año <input type="checkbox"/>	Más de 10 años <input type="checkbox"/>	
		De 1 a 5 años <input type="checkbox"/>	Toda la vida <input type="checkbox"/>	
		De 6 a 10 años <input type="checkbox"/>		
7.	¿Conoce los paisajes de las lagunas que hay en Mexicali?	Sí (pasa a la pregunta 8) <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
		No estoy seguro <input type="checkbox"/>		
8.	Si su respuesta anterior es afirmativa, ¿cuáles lagunas conoce? Elige todas las opciones que apliquen	Laguna Xochimilco <input type="checkbox"/>	Laguna de los patos <input type="checkbox"/>	Las Arenitas <input type="checkbox"/>
		Laguna México <input type="checkbox"/>	Laguna Salada <input type="checkbox"/>	Laguna Grande <input type="checkbox"/>
		Laguna Campestre <input type="checkbox"/>	Laguna del bosque de la ciudad <input type="checkbox"/>	
9.	Actualmente, ¿le agrada el paisaje de las lagunas?	Sí me agrada <input type="checkbox"/>	No me agrada <input type="checkbox"/>	No lo sé <input type="checkbox"/>
10.	Según su percepción, califique el nivel de daño que ocasionan las siguientes actividades en las lagunas. Donde uno es mucho daño y 1 es nada	Contaminación del aire <input type="checkbox"/>	Delincuencia <input type="checkbox"/>	
		Contaminación del agua <input type="checkbox"/>	Falta de apoyo de las autoridades <input type="checkbox"/>	
		Basura <input type="checkbox"/>	Falta aplicación de leyes <input type="checkbox"/>	
		Crecimiento de la ciudad <input type="checkbox"/>	Corrupción <input type="checkbox"/>	
		Indiferencia de la gente <input type="checkbox"/>		

11. ¿Estaría a favor de establecer un plan para rehabilitar /manejar las lagunas?

Sí No No sé

12. En caso que su respuesta anterior sea afirmativa, ¿qué acciones propondría?
