El acuífero que nos une

De la cuenca al arrecife, una visión ecosistémica

Centinelas del Agua A.C.

Elaborado por:

Centinelas del Agua A.C.

Con el apoyo de:

MAR FUND

FMCN FONDO MEXICANO PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA, A.C. INSTITUCIÓN PRIVADA

GETECCA GRUPO ESPECIALIZADO DE TRABAJO EN EDUCACIÓN, COMUNICACIÓN Y CULTURA DEL AGUA Quintana Roo

SANCVS FOUNDATION

THE SUMMIT FOUNDATION

López-Tamayo A., Nava-Ruiz V.M., Castillo Badillo J.I., Alba M., González J.C., Santos P., (2021). **El acuífero que nos une. De la Cuenca al Arrecife, una Visión Ecosistémica.** Elaborado por Centinelas del Agua A.C., con el apoyo de Fondo Mexicano para Conservación de la Naturaleza, MARFUND, Summit Foundation y Sancvs Foundation.

Información: info@centinelasdelagua.org
Página electrónica: https://centinelasdelagua.org/
Redes sociales: Facebook: Centinelas del Agua A.C.
Instagram: Centinelas del Agua A.C.
Twitter: @CentinelasAgua
Youtube: /centinelasdelagua

Diseño:

TALLER

EL ACUÍFERO QUE NOS UNE

De la Cuenca al Arrecife, una visión ecosistémica.

Realizado bajo la coordinación de Centinelas del Agua, A.C. con el apoyo de Fondo Mexicano para Conservación de la Naturaleza, A.C. Fondo para el Sistema Arrecifal Mesoamericano (Fondo SAM), Summit Foundation y Sancvs Foundation.

Contenidos y edición:

- Alejandro López Tamayo
- Viridiana Margarita Nava Ruiz
- Juanis Itzel Castillo Badillo
- Mónica Alba Murillo
- Juan Carlos González Vergara
- Patricia Santos González

Diseño e ilustración: XÓ! Taller

- S. Irel Cabrera Trejo
- Julio R. León Alcázar

Idea Original:

- Alejandro López Tamayo

Se autoriza su uso exclusivo para fines didácticos con su cita correspondiente.

Derechos Reservados. 2021
Quintana Roo, México.

Agua Clara | Ch’och’ojLäj Ja’

El agua clara es vida
para poder vivir todos los días,
regalo del Creador que nos brinda
su amor y grandes maravillas.
El agua clara nos alimenta
símbolo de fertilidad,
hace crecer a las plantas
y a toda la humanidad.
Agua clara del cielo,
agua clara del Creador,
de los mares y riachuelos
y de su inmenso amor.

Ri ch’och’ojläj ja’ are’ k’aslemal
Rech ri k’aslemal nujel taq’ q’ij
Usipam kanöq qtat chi qech
Uluq’ob’al xuquje nim kumano.
Ri ch’ojch’ojläj ja’ kujutzuqu
Wa quk’ya’ etz’ab’alil re k’aslemal
Kuk’iysaj le che’
Xuquje’ le winäq.
Ch’ojch’ojläj ja’ rech kaj
Ch’ojch’ojläj ja’ rech qtat
Rech le plo xuquje le chü’uti’n täq ja’
Xuquje’ rech unimal loq’b’äl k’u’x.

Fragmento de antiguo poema Maya

Presentación

La Península de Yucatán es una región con una gran diversidad biológica con ecosistemas característicos de zonas tropicales, los cuales se encuentran conectados por un maravilloso acuífero kárstico que descarga su agua subterránea en el **Sistema Arrecifal Mesoamericano del Mar Caribe y en el Golfo de México.** El poder comprender la vulnerabilidad de los ecosistemas, la importancia y los servicios ambientales que nos brindan cada uno de esos ecosistemas nos acercará hacia la generación de una conciencia colectiva ambiental a todos y todas los que habitamos y visitamos la **Península de Yucatán.**

Este Manual que hemos desarrollado en **Centinelas del Agua A.C.,** está enfocado en ser una herramienta de apoyo para las profesoras y los profesores, para los habitantes de la región, así como para educadores ambientales que deseen ser la voz de los ecosistemas. Todo ello mediante el conocimiento y la práctica pedagógica que genere un acercamiento y una mejor apropiación del entorno natural local.

«El acuífero que nos une» promueve la integración de una visión ecosistémica como sentido de pertenencia a los ecosistemas locales como los cenotes, las selvas, el manglar, la duna costera, los pastos marinos y el arrecife de coral. Este Manual ha sido realizado con la mente, el corazón y las manos para recordarnos que todas y todos somos parte de este acuífero y sus ecosistemas asociados que nos une por una sola causa, la conservación de la naturaleza que nos recuerda que preservar el agua es tarea de todas y todos.

M. en C. Alejandro López Tamayo | **Director General**
Centinelas del Agua A.C.

Un reconocimiento especial a las y los colaboradores, fotógrafos, consultoras, instituciones y comunidades que han sido inspiración y que han sido parte esencial de esta gran herramienta de educación ambiental para la Península de Yucatán. De igual manera un gran reconocimiento a **Alejandra Cornejo, Liliana Pulido y Mares Nieto** por su visión y semilla sembrada del proyecto «El acuífero que nos une».

Una dedicatoria especial a **Ana Lilia Córdova Lira,** miembro fundadora de **Centinelas del Agua A.C.** quien ha sido parte importante y medular de la concepción de «El acuífero que nos une». Agradeciendo también a **Francisco Córdova Lira** Presidente del Consejo Directivo de **Centinelas del Agua A.C.** así como a todos los miembros de este gran Consejo Directivo.

“El desarrollo de la inteligencia emocional, social y ecológica puede ayudarnos ahora a enfrentar de forma eficaz las amenazas actuales a los sistemas del soporte vital de nuestra Tierra” – **Daniel Goleman**

Acerca de este manual

¿A quién se dirige?
¿Cómo esta estructurado?
Nuestros guías: Centi y Nela
Consejos para educadores

I

Educación para la Sustentabilidad

1.1 Educación Ambiental
1.2 La naturaleza como espacio de aprendizaje
1.3 Ecopedagogía
1.4 Cabeza, corazón y manos

II

Educación ambiental y el acuífero en la Península de Yucatán

VI

Manglar

6.1 Distribuición
6.2 Flora y fauna asociada a los manglares
6.3 Servicios ambientales
6.4 Amenazas
6.5 ¿Cómo cuidar a los manglares?
6.6 Los manglares y la cultura
6.7 Visión Ecosistémica
6.8 Actividad 5 La gran muralla
6.9 Actividad 6 ¿Quién vive en los manglares?

VII

Dunas costeras

7.1 Distribuición
7.2 Servicios ambientales
7.3 Flora y fauna de Dunas Costeras
7.4 Amenazas
7.5 ¿Cómo cuidar a las dunas costeras?
7.6 Las dunas costeras y la cultura
7.7 Visión Ecosistémica
7.8 Actividad 7 Mapeando las dunas costeras
7.9 Actividad 8 ¿Por qué son importantes las dunas costeras?
7.10 Actividad 9 ¡Hagamos historia!

VIII

Pastos Marinos

8.1 Distribuición
8.2 Servicios ambientales
8.3 Amenazas
8.4 ¿Cómo cuidar los pastos marinos?
8.5 Los pastos marinos y la cultura
8.6 Visión Ecosistémica
8.7 Actividad 10 Monitoreando las paredes de pastos marinos
8.8 Actividad 11 ¿Monitoreando pastos no tan marinos?

XII

Bibliografía

12.1 Educación Ambiental: Conceptos y Enfoques
12.2 Visión ecosistémica de la Península de Yucatán
12.3 El acuífero nuestra única fuente de agua dulce
12.4 Selva
12.5 Manglar
12.6 Dunas costeras
12.7 Pastos marinos
12.8 Arreifes

CONTENIDO

III

El acuífero: nuestra única fuente de agua dulce en la Península

3.1 Ciclo del agua en la Península de Yucatán
3.2 Acuífero de la Península de Yucatán
3.3 Servicios ambientales
3.4 Amenazas para el acuífero
3.5 ¿Cómo cuidar el acuífero?
3.6 El acuífero y la cultura
3.7 Actividad 1 ¿Qué tanto es tantito?
3.8 Actividad 2 Filtro Kárstico

IV

Visión ecosistémica de la Península de Yuactán

4.1 El agua conecta a los cosistemas
4.2 Conectividad ecólogica de los ecosistemas
4.3 La cultura conecta los ecosistemas

V

Selva

5.1 Distribuición
5.2 Servicios ambientales
5.3 Amenazas para la selva
5.4 ¿Cómo cuidar la selva?
5.5 Las selvas y la cultura
5.6 Visión Ecosistémica
5.7 Actividad 3 Llueven ideas de la selva
5.8 Actividad 4 Todo está conectado

IX

Arrecife

9.1 Formación
9.2 Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM)
9.3 Servicios Ambientales
9.4 Amenazas
9.5 ¿Cómo cuidar a los arrecifes?
9.6 Los arrecifes y la cultura?
9.7 Visión Ecosistémica
9.8 Actividad 12 Haciendo esqueletos de coral
9.9 Actividad 13 “El coral más fuerte”

X

De la cuenca al arrecife, una visión ecosistémica

10.1 Los recorridos vivenciales y la inteligencia ecológica
10.2 Actividad 14 Recorrido vivencial

XI

Glosario

Acerca de **este Manual**

El Manual de Educación para la Sustentabilidad de la Península de Yucatán **"EL ACUÍFERO QUE NOS UNE"** es un material didáctico que pretende ser una herramienta teórico-práctica para docentes, estudiantes y grupos comunitarios sobre los recursos hidrogeológicos de la Península, su importancia, vulnerabilidad e interconexión con sus ecosistemas asociados.

El manual pretende brindar el conocimiento básico del entorno natural local, haciendo énfasis en la importancia de la interconexión entre los ecosistemas mediante una visión ecosistémica en donde el acuífero conecta todo, desde la selva hasta el arrecife.

Desde su concepción, este manual fue diseñado sobre tres ejes centrales: conocimiento científico, aprendizaje vivencial y visión ecosistémica. A partir de éstos, se han desarrollado los contenidos y las actividades incluidas, así como los **aprendizajes esperados.**

Conocimiento Científico	Aprendizaje Vivencial	Visión Ecosistémica
Hacer accesible el conocimiento científico y técnico sobre el acuífero de la Península de Yucatán al sector estudiantil y grupos comunitarios, es un elemento clave para brindar los conocimientos más veraces y actualizados sobre el tema.	Se promueve un aprendizaje vivencial de los estudiantes y participantes, mediante el aprendizaje significativo y la exploración del mundo natural, utilizando los espacios exteriores como aulas vivas del conocimiento.	Una visión ecosistémica permite reconocer la interconexión del acuífero con todos los demás ecosistemas, así como la interdependencia entre este recurso y el bienestar de las comunidades humanas, considerando el valor ambiental, económico y cultural del recurso en la Región.

¿A quién se dirige?

El Manual está dirigido principalmente a docentes y estudiantes de nivel medio y medio-superior (edades entre 14 a 19 años), con el fin de sensibilizar a las y los jóvenes de la Península de Yucatán **(PY)** sobre los ecosistemas locales, a través del aprendizaje vivencial. No obstante, se invita a que este recurso didáctico sea utilizado también en contextos no escolarizados, por grupos de estudio independiente, educadores ambientales, jóvenes o grupos comunitarios urbanos y rurales.

El sector de la población al que está dirigido el Manual comprende a los jóvenes que serán los futuros tomadores de decisiones, por lo que se pretende:

- Servir como fuente de consulta para los estudiantes, docentes y usuarios del recurso.
- Informar y promover el pensamiento crítico sobre las problemáticas ambientales actuales que enfrenta el acuífero.
- Promover una cultura ambiental basada en la interconexión entre los ecosistemas y las comunidades humanas; el respeto y conservación de los recursos naturales en las comunidades de la Península de Yucatán.
- Fomentar la participación de los docentes, estudiantes y usuarios del recurso en acciones que procuren la conservación del ambiente, la biodiversidad y la cultura.

¿Cómo está estructurado?

El Manual contiene los conocimientos básicos generales sobre las principales pedagogías aplicadas en la Educación para la Sustentabilidad, sobre el acuífero en la Península de Yucatán y los principales ecosistemas que la componen: selva, manglar, duna costera, pasto marino y arrecife de coral. Adicionalmente, cada capítulo contiene actividades prácticas para la aplicación y comprensión de los conocimientos presentados, así como la exploración guiada de espacios exteriores a través de un aprendizaje vivencial.

Consejos para educadores

El reto más importante como docente o facilitador será guiar al grupo de estudiantes o participantes en un proceso de aprendizaje significativo en donde se promueva un sentido de pertenencia por los recursos naturales, ecosistemas y biodiversidad asociada al acuífero de la Península de Yucatán, las problemáticas que se viven en la región y de qué forma, desde su sector, pueden aportar hacia la conservación.

Preguntas generadoras. Constituyen una de las actividades más eficaces para facilitar y promover la participación activa del estudiante o participante para un aprendizaje significativo. Esto, debido a que las preguntas generadoras pueden ser formuladas y utilizadas para propiciar situaciones como: recordar conocimientos previos, orientar conversaciones,

fijar la atención en puntos específicos, despertar la curiosidad, generar ideas, aclarar planteamientos, invitar a la reflexión, entre otros.

Aprendizaje constructivo. Es un proceso activo en donde el estudiante o participante desarrolla sus propios conocimientos y capacidades, en interacción con su grupo ya que no es un receptor pasivo porque no asimila el conocimiento directamente, sino que lo interpreta y organiza de acuerdo a sus conocimientos, objetivos o necesidades propias y las del grupo.

Escucha activa. La escucha activa es una técnica de comunicación asertiva, basada en la aceptación y la empatía. Como docente o facilitador es útil no solo para promover la capacidad de expresar correcta y efectivamente las emociones o argumentos de los estudiantes y participantes, sino también para saber escuchar y percibir la razones, percepciones y emociones de los demás sobre un tema en particular, estableciendo ese contacto auténtico que puede convertirse en una base para un aprendizaje enriquecedor y significativo.

Nuestros guías: Centi y Nela

Son un dúo que lucha por sus derechos para tener acceso al agua, amantes de la naturaleza, tienen como misión cuidar del acuífero, ellos te brindarán consejos para mejorar el Medio Ambiente y serán tus guías durante todo el recorrido en este viaje hacia el aprendizaje.

¡TE INVITAMOS A CONVERTIRTE EN UN CENTINELA DEL AGUA!

I. Educación para la **Sustentabilidad**

En esta sección, abordaremos las principales metodologías pedagógicas que consideramos fundamentales para los procesos de formación hacia una cultura ambiental. En este sentido, hemos seleccionado las cuatro pedagogías que han sido base y fundamento para las actividades de **Centinelas del Agua A.C.** desde sus inicios como organización. Estamos seguras y seguros que a los y las docentes, facilitadores, facilitadoras y jóvenes que utilicen este Manual les brindarán nuevas herramientas e ideas para potenciar sus procesos de aprendizaje.

1.1 Educación Ambiental

La educación ambiental **(EA)** se define como un proceso continuo que se encarga de formar una cultura ecológica en la sociedad. Esta cultura se logra a través del manejo y de la apropiación de los conocimientos, las actitudes, las aptitudes y los valores acerca de la relación de la sociedad con la naturaleza. La educación ambiental surge como respuesta al deterioro visible del medio ambiente y al rompimiento de la armonía del ser humano con la naturaleza.Una sociedad donde se promueve la educación ambiental, impulsará acciones concretas a favor de la conservación del medio ambiente y de los recursos naturales **(González, 1994).**

Actualmente, la educación ambiental abarca algo más que el estudio de relaciones pedagógicas y ecológicas, trata de las responsabilidades que debe tener el sistema educativo formal y todos los espacios de aprendizaje no escolarizados para preparar a la población hacia una participación activa como agentes de cambio hacia un desarrollo sustentable y estimular su conciencia para la solución de los problemas socio-ambientales actuales y futuros fomentando la corresponsabilidad **(Caride, 2000).**

1.2 La naturaleza como espacio de aprendizaje

El aprendizaje experiencial o vivencial es un proceso basado en el principio pedagógico de **"aprender haciendo",** es decir, el conocimiento que los estudiantes adquieran después de haber experimentado o hecho algo nuevo **(Valkanos y Fraguolis, 2015)** es un proceso integral de adaptación al mundo real y por lo tanto abarca conceptos como la creatividad, la resolución de problemas, la toma de decisiones y el cambio de actitud hacia su entorno **(Kolb, 1984).**

Debido a esto, es ampliamente aceptado que la educación ambiental y los métodos de enseñanza experimentales están muy estrechamente conectados. Métodos, tales como estudios de casos, experimentos, ejercicios de campo, simulaciones, excursiones, debates, proyectos, juegos de rol y la investigación guiada facilitan el procedimiento de aprendizaje y estimulan a los estudiantes en la comprensión de los problemas actuales del mundo **(Markaki, 2014).**

La educación ambiental al aire libre, consiste esencialmente en lograr que los estudiantes comprendan la naturaleza compleja del ambiente natural y del creado por el ser humano, que sea resultado de la interacción entre sus aspectos biológicos, físicos, sociales, económicos y culturales; por medio de la adquisición de conocimientos, valores, comportamientos y habilidades prácticas para participar responsable y eficazmente en la prevención, solución de los problemas ambientales, y en la gestión relacionada con la calidad ambiental **(Martínez, 2007).**

La educación al aire libre fomenta la interacción del ser humano con todas las formas de vida, permite involucrar y conectar todos los sentidos con las formas del entorno natural, promueve el desarrollo de los sentimientos a través de las experiencias, aumentando la percepción de los sentidos para una mejor apropiación del conocimiento en el aula viva.

1.3 Ecopedagogía

La Ecopedagogía o **"Pedagogía de la Tierra"**, como lo define Moacir Gadotti uno de los ecopedagogos más reconocidos de América Latina, es una rama de la pedagogía que nos permite reconocernos en la Tierra como el planeta del que formamos parte y nos coloca al mismo nivel de todas las criaturas vivas que habitamos en ella (Gutiérrez y Prado, 2015). Es un movimiento social y político que surge de la sociedad civil, organizaciones, educadores y grupos organizados preocupados por la conservación ambiental.

La ecopedagogía promueve una educación que propicia el desarrollo social, económico y, sobre todo, el respeto y el amor por todo aquello que nos rodea, a través de la interacción con nuestro entorno natural. Fomenta un modelo basado en el ***eco-centrismo***, el cual fomenta valores centrados en el conocimiento, apreciación y respeto por la naturaleza.

Para algunos especialistas, la ecopedagogía trasciende la educación ambiental que promueve solamente la conservación de los recursos para propiciar el mejoramiento de las condiciones para todos y cada uno de los seres vivos que compartimos este macrosistema vivo llamado Tierra (Martínez, 2007).

Partiendo desde esta perspectiva, es posible cuestionarnos sobre nuestra responsabilidad respecto al daño que le hemos causado a los demás seres vivos del planeta. Esto nos lleva a generar una perspectiva de corresponsabilidad para tener una visión ecosistémica de la comprensión del mundo natural, en donde los seres humanos hacemos conciencia de que somos solo una parte del todo y que ese todo es dinámico y está interconectado.

1.4 Cabeza, corazón y manos

Incorporar todas las dimensiones de nuestro ser en los procesos de aprendizaje es el fundamento que sostiene la metodología pedagógica ***Cabeza, corazón y manos*** del reconocido educador y filósofo suizo Heinrich Pestalozzi, quien desde el Siglo XVIII fue pionero de la educación holística argumentando la importancia del trinomio [conocimiento + emociones + habilidades] para que un aprendizaje pueda ser realmente significativo. El trabajo de Pestalozzi fue precursor de los movimientos educativos liderados por María Montessori, Freinet y Piaget.

Cuando se incorpora **la cabeza, el corazón y las manos,** estos tres elementos concurren en la producción de la fuerza autónoma en cada estudiante o participante. El elemento del conocimiento garantiza la universalidad de la naturaleza humana, el elemento sensible garantiza su particularidad radical dándole unicidad y reconociendo lo que es significativo para cada estudiante, mientras que el elemento de acción corresponde al poder esencialmente humano de aplicar, crear y ejecutar (Soëtard, 1999).

II.

Educación ambiental y el acuífero en la **Península de Yucatán**

La Península de Yucatán **(PY)** es reconocida por su gran belleza representada por la riqueza de sus ecosistemas y recursos naturales. Esto ha hecho que los tres estados que la conforman: Campeche, Yucatán y Quintana Roo, se encuentren entre los primeros destinos turísticos del país, dando la oportunidad de proveer empleos y subsistencia a una población proveniente de diversos estados del país e incluso de diversos países del mundo y que aumenta de manera exponencial año con año.

Esta situación ha generado en los últimos 50 años un crecimiento urbano y económico carente de planeación sostenible y estrategias de desarrollo que consideren un adecuado manejo de los recursos naturales, tomando en cuenta su vulnerabilidad, lo que impacta directamente a los ecosistemas de la Península de Yucatán.

El acuífero de la PY representa una de las reservas de agua dulce más grandes del país y la única fuente de agua dulce en la región. El acuífero conecta importantes ecosistemas de la Península y por ello es imprescindible reconocer que este recurso hídrico es altamente susceptible a la contaminación debido al tipo de suelo **kárstico** que prevalece ya que es altamente permeable.

Debido a la vulnerabilidad de este **acuífero** y de los ecosistemas asociados, surge la necesidad de informar y concientizar a la población sobre esta condición, para promover la suma de acciones en beneficio de su conservación. Para ello, se plantea la Educación Ambiental **(EA)** como una herramienta imprescindible para alcanzar dicha meta **(Siqueira, 2012).**

Dato Fankárstico ... ¿Sabías que, el agua nos conecta?

El agua que circula en el subsuelo en la Península de Yucatán recorre cientos de kilómetros desde el continente hasta el mar. Abastece de agua a todos los ecosistemas que recorre a su paso y a todas las comunidades humanas.

Por lo anterior, consideramos una necesidad apremiante el desarrollo de programas de educación ambiental dirigidos principalmente a jóvenes, maestros y educadores comunitarios debido a que la inclusión de una visión ambiental en su formación es favorecer los procesos de auto-conceptualización (construcción del ser) y socialización, lo cual será determinante en las acciones y decisiones que construyan en sus etapas futuras **(Luna y Molero, 2013).**

El conocimiento de los ecosistemas, los recursos naturales y la biodiversidad de la Península de Yucatán es necesario para generar un sentimiento de apropiación en la población. El aprendizaje vivencial propuesto en este Manual ayudará a que ese sentimiento de apropiación sea un motor para el cuidado y la

protección del acuífero y todos los recursos naturales con los que está interconectado.

En este contexto, quienes conformamos **Centinelas del Agua A.C.** estamos entusiasmados de incentivar en las y los jóvenes, maestros, maestras y grupos comunitarios de aprendizaje, el reconocimiento de los ecosistemas de la Península de Yucatán, y el autoconocimiento como seres pertenecientes a su medio. Además, a través de este Manual queremos fomentar el reconocimiento de sus ideas y aportaciones, siempre que propicien acciones que transformen positivamente el medio en el que viven.

III.

El acuífero: nuestra única fuente de **agua dulce en la Península**

Las aguas subterráneas son un componente de gran importancia del ciclo hidrogeológico ya que gracias a las fracturas, fallas, cenotes y grandes conductos de disolución el agua se traslada **"escondida"** debajo de la tierra y llega hasta el mar. Por ello, los acuíferos son una de las unidades hidrológicas más importantes del mundo ya que muchas personas dependen de las aguas subterráneas para garantizar su seguridad alimentaria y calidad de vida en el planeta, las aguas subterráneas representan el 98% del agua dulce no congelada y en la naturaleza son el sostén de una gran variedad de funciones y servicios ecológicos (UNESCO, 2020), manteniendo diversos ecosistemas dependientes del agua subterránea (EDAS) como es el caso de la Península de Yucatán.

Antes de hablar del acuífero, vamos a revisar brevemente el comportamiento del agua dentro del ciclo hidrológico, así como las características del suelo y su relación con el agua subterránea y los acuíferos.

El ciclo hidrológico se refiere al fenómeno natural de la circulación continua del agua proveniente de la tierra y del mar hacía la atmósfera y viceversa. Esta circulación constante ocurre cuando el agua de los océanos, ríos, lagunas y cenotes se evapora y se dirige hacia la atmósfera **(evaporación)**, donde el agua pasa de un estado de vapor a un estado líquido **(condensación)**. Posteriormente, el agua se precipita o cae en forma de lluvia hacia la tierra **(precipitación)** tomando varias rutas: **a)** evaporándose; **b)** desembocando en ríos y arroyos; **c)** transportándose de nueva cuenta a la atmósfera mediante la transpiración de las plantas **(evapotranspiración)** y **d)** filtrándose en el suelo a través de sus poros **(infiltración)** para convertirse en agua subterránea, que puede dirigirse hacia un punto de descarga como el mar **(escorrentía subterránea)** (Fig. 1).

EL CICLO DEL AGUA en la Península de Yucatán

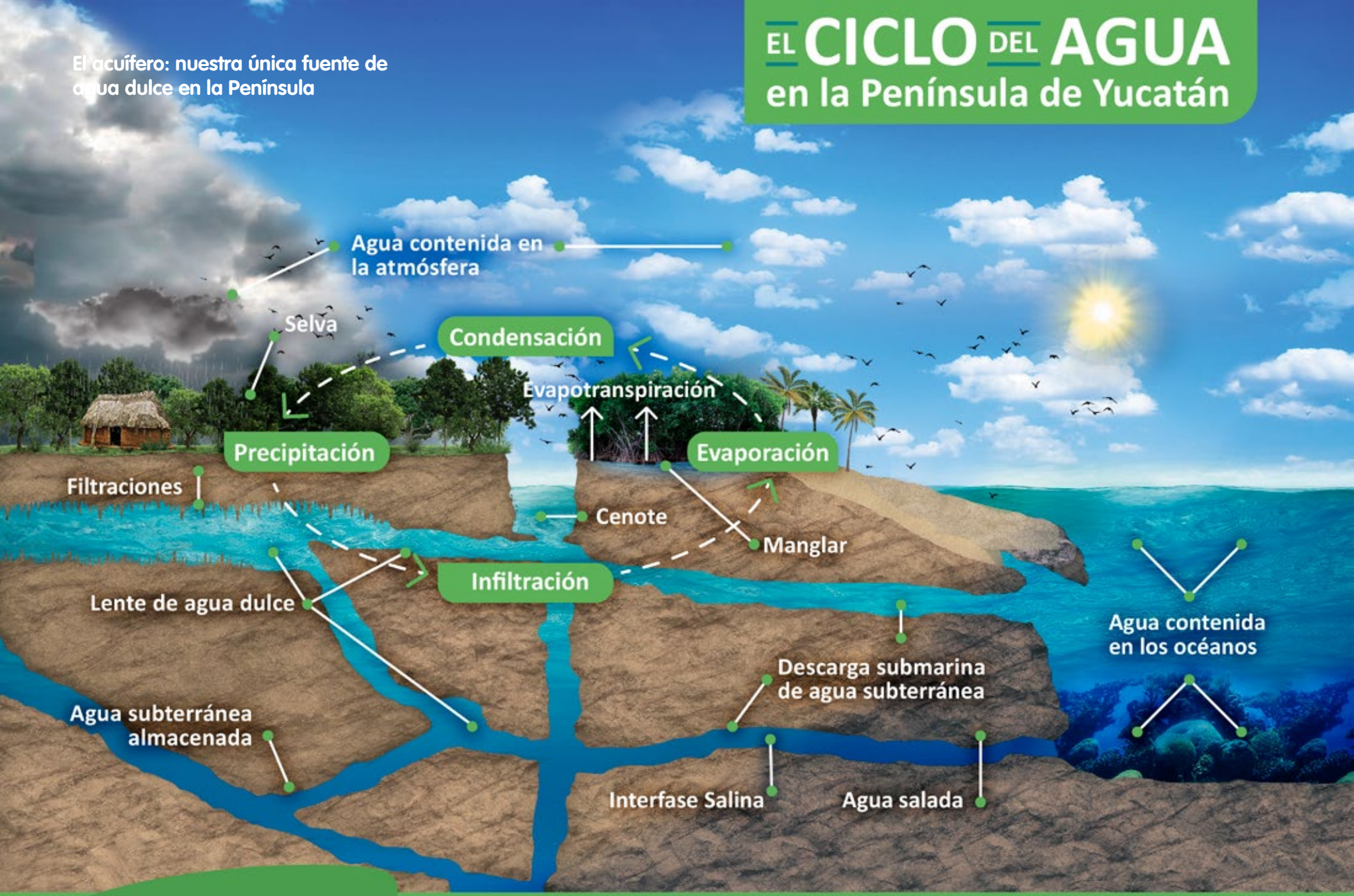


Figura 1. Ciclo del agua en la Península de Yucatán | Elaboración Propia

Centinelas del Agua A.C.

Existen dos características del suelo o de la roca que son muy importantes para la presencia y movimiento del agua subterránea. La primera de ellas es la porosidad, que se refiere al tamaño y a la cantidad de espacios vacíos (poros) en la **roca madre o roca consolidada.** La segunda, es la ***permeabilidad,*** que se refiere a la facilidad con la que el agua subterránea puede moverse a través de esos espacios o poros de la roca (Waller, 1994).

Otros factores como la pendiente del terreno, la cobertura vegetal y el material de la roca también son importantes para determinar el movimiento del agua, ya que se relacionan con la cantidad de agua que puede infiltrarse al suelo. En zonas como la Península de Yucatán, el agua entra en contacto con el dióxido de carbono del aire, generando **ácido carbónico,** este ácido puede disolver a las rocas carbonatadas (como la roca caliza) dando como resultado la formación de canales o conductos de disolución a través de los cuales el agua subterránea puede moverse tanto vertical como horizontalmente. Finalmente, toda esa agua subterránea se almacena o circula por debajo de la superficie y es a lo que llamamos **acuífero** (Fig. 2) (Waller, 1994).

3.2 Acuífero de la Península de Yucatán

En México, anualmente se reciben aproximadamente **1,449,471 millones de m³ de agua de lluvia,** lo que equivale a **580** albercas olímpicas llenas a tope. Increíblemente, de esta agua se estima que el **72%** se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el **22%** escurre por ríos y arroyos, y únicamente el **6%** se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos (Fig. 3).

Hasta el 2011, en México se tenían contabilizados **653 acuíferos,** de los cuales el acuífero de la Península de Yucatán (PY) es uno de los más importantes pues es la principal fuente de abastecimiento de agua potable para los cinco millones de habitantes que viven en Campeche, Yucatán y Quintana Roo y que además da sustento a la gran diversidad ecológica y riqueza natural que caracteriza a la PY (CONAGUA, 2018).

Figura 2. Características del suelo que permiten la infiltración y el movimiento del agua subterránea en el acuífero de la Península de Yucatán. Tomado y modificado de: Waller, R.M., 1994

Dentro de este acuífero, en sus cuevas y cavernas habitan varias especies acuáticas endémicas como la dama blanca ciega *(Typhliasina pearsei)* (Fig. 4) y la anguila ciega *(Ophisternon infernale)* (Fig. 5) que son peces que han evolucionado a perder la vista y el color de su piel ya que viven en total oscuridad.

Figura 4. Dama Blanca Ciega, foto cortesía de Río Secreto
Figura 5. Anguila Ciega, foto cortesía de Sosa - Rodríguez E.

Dato Fankárstico... *Cada vez que veas a un Pájaro Toh (Eumomota superciliosa) quiere decir que muy cerca existe una entrada de agua al río subterráneo. A estas aves de hermosos plumajes azules, les gusta vivir cerca de las corrientes de agua.*

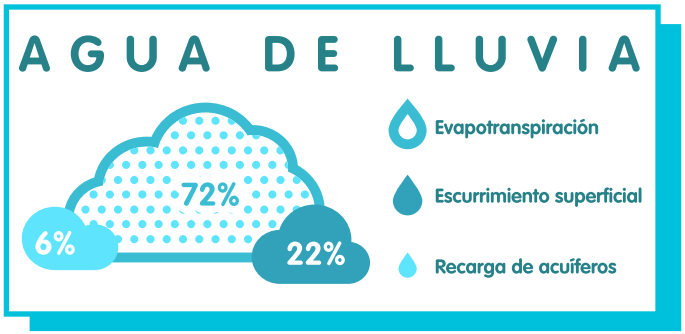


Figura 3. Fracción del agua de lluvia que recarga a los acuíferos en México.

Como se ha mencionado anteriormente, la única fuente de agua dulce en la Península de Yucatán es el agua subterránea y esto se debe a la geología y a lo plano de la plataforma peninsular lo que impide la retención de cuerpos de agua superficiales. Por esa razón, prácticamente no hay ríos ni lagos en la PY de los cuales la población pudiera abastecerse de agua dulce en un volumen importante y con la calidad adecuada. Únicamente existen dos ríos superficiales: el Río Candelaria en Campeche y el Río Hondo al sur de Quintana Roo ya que la mayoría de lo que conocemos como lagunas en la PY en realidad son **depresiones kársticas** alimentadas por el agua subterránea, o bien, donde queda expuesto el **nivel freático.**

Figura 6. Pájaro Toh, foto cortesía de Río Secreto

El almacenamiento y el flujo de agua subterránea en la Península ocurren en un acuífero kárstico y pueden presentarse en forma de grandes **sistemas de cuevas y cenotes** (Bauer-Gottwein et al., 2011). Estos cenotes son muy comunes en la PY, se estima que hay alrededor de ocho mil cenotes en los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo, aunque la cobertura vegetal ha hecho más difícil el cálculo. Con base a la densidad de cenotes, como se muestra en la Figura 7, **la PY se puede dividir en dos regiones:**

1. Al noroeste de la Península, dentro del radio de impacto del cráter de Chicxuluub, conocido como **"anillo de cenotes de Chicxuluub".**
2. Al oriente de la Península, donde los cenotes se distribuyen a lo largo de Quintana Roo trazando una línea imaginaria desde Holbox hasta Tulum, área conocida como **"zona de fracturas de Holbox – Xel-Há".**

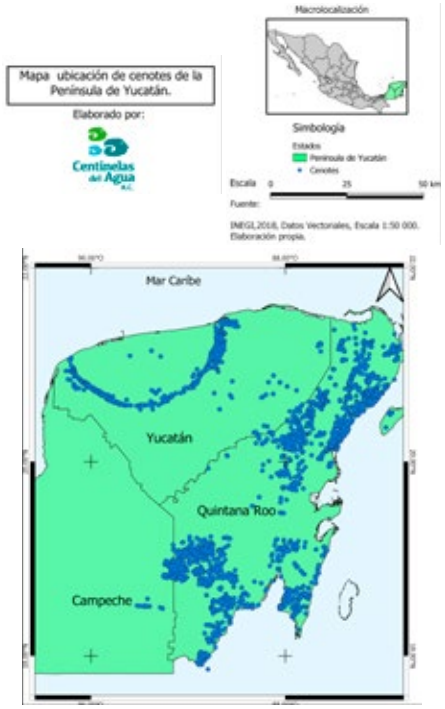


Fig 7. Ejemplo de Regiones de cenotes en la península de Yucatán (sin intregar información de Campeche).

Otra característica del acuífero que está presente en Quintana Roo y en toda la PY, es su interacción con la parte marina. Este **acuífero kárstico** costero puede llevar a cabo un proceso denominado **intrusión salina,** en el que se mezclan en el subsuelo el agua dulce del acuífero con el agua salada del mar. Esta intrusión ocurre hasta en decenas de kilómetros tierra adentro y representa un límite para el uso de aguas subterráneas ya que disminuye la cantidad de agua dulce disponible con calidad adecuada para consumo humano (Bauer-Gottwein et al., 2011).

Dato Fankárstico... ¿Para qué se usa el agua en la Península de Yucatán?

1. 67% *para actividades de agricultura, pecuarias y acuacultura.*
2. 19% *para uso industrial, comercios y servicios turísticos.*
3. 14% *para uso público de ciudades y uso doméstico.*

3.3 Servicios ambientales

El agua subterránea nos brinda muchos **servicios ecosistémicos** o ambientales a todos los seres vivos que habitamos en la Península de Yucatán (microorganismos, plantas, animales y humanos). Este recurso es una parte fundamental para mantener el equilibrio en la naturaleza ya que el acuífero conecta y abastece de agua a todos los ecosistemas que son totalmente dependientes de él, mismos que también prestan numerosos servicios ambientales (Custodio, 2010; Torruco y González, 2010; Amigos de Amigos de Sian Ka'an, 2016). Es por ello que el acuífero conecta todo, desde la selva hasta los arrecifes, por lo que se requiere tener siempre presente esta visión ecosistémica **"de la cuenca, al arrecife"** para tomar conciencia de la importancia ambiental que tiene el acuífero al conectar todos los ecosistemas.

Los principales ecosistemas asociados al acuífero de Quintana Roo son:

- **Cenotes.** Estos ecosistemas tienen un gran valor cultural, ecológico y económico de la región. Los cenotes son el hábitat de especies endémicas como microcrustáceos, peces como el bagre, la mojarra, los molis y la dama blanca ciega o anguila ciega.
- **Humedales:** El agua subterránea es un componente que determina la existencia de los humedales, en donde existen especies acuáticas y semiacuáticas. Además, funcionan como "soporte" a la vegetación durante la temporada de secas cuando la zona inundable disminuye.
- **Selva:** Toda la vegetación de la selva tiene como fuente principal de agua al acuífero, los árboles en particular mediante su sistema de raíces, atraviesan la roca porosa y llegan hasta el agua subterránea. De esta manera, el acuífero da soporte vital a toda la flora y la fauna asociada al ecosistema selvático **(Para conocer a la flora y fauna de este ecosistema consultar el apartado de Selva).**
- **Arrecifes de coral:** En zonas costeras, el agua subterránea circula hasta desembocar en zonas marinas cercanas, donde hay ecosistemas altamente productivos y biológicamente importantes como los arrecifes de coral. Por ello, es de suma importancia mantener la buena calidad del agua subterránea pues de esta calidad depende en mucho la salud de los arrecifes de coral. Los corales y las estructuras que forman proporcionan un amplio rango de beneficios que **se mencionarán más adelante en el apartado de Arrecifes.**

3.4 Amenazas para el acuífero

La forma en la que se desplaza el agua en el acuífero **(hidrodinámica)** y las características del subsuelo **(geomorfología)** lo hacen altamente vulnerable a la contaminación, lo que puede limitar la disponibilidad de agua de buena calidad para consumo humano y para los ecosistemas dependientes del agua subterránea.

Entre las principales causas de contaminación, se encuentran los problemas de saneamiento relacionados a la mala disposición de las aguas residuales, la falta de drenaje, el mal uso de las fosas sépticas, así como el destino inadecuado de la basura en tiraderos a cielo abierto. En la **Tabla 1** se muestra un resumen de las principales amenazas y fuentes de contaminación para el acuífero de la PY (Foster, et al., 2002).

3.5 ¿Cómo cuidar el acuífero?

Hay muchas maneras en las que puedes ayudar a preservar la buena calidad del agua del acuífero de la Península de Yucatán. En la siguiente tabla te proponemos algunas. **¿A cuáles te sumas?**

Tabla 1. Principales actividades y fuentes de contaminación del acuífero de la Península de Yucatán.

Causa	Actividad	Tipo de contaminantes
Contaminación del acuífero por aguas negras, toxinas, agroquímicos y materia orgánica.	Descargas de aguas residuales. Confinamiento inadecuado de residuos sólidos urbanos. Actividades urbanas. Agricultura y ganadería. Malas prácticas del turismo.	Patógenos (virus y bacterias), metales pesados, pesticidas, enriquecimiento de nutrientes provenientes de las aguas residuales (nitritos, nitratos, fosfatos).
Contaminación de pozos de extracción	Construcción/diseño inadecuado de pozos que permite el ingreso directo de agua superficial o agua subterránea contaminada.	Principalmente virus y bacterias, así como grasas y aceites de automóviles.
Intrusión salina hacia el acuífero	Intrusión de agua de mar hacia el acuífero de agua dulce como resultado de la extracción excesiva o mal planificada.	Cloruro de sodio.
Deforestación	La pérdida de áreas verdes disminuye la capacidad de recarga del acuífero.	
Desconocimiento	Intrusión de agua de mar hacia el acuífero de agua dulce como resultado de la extracción excesiva o mal planificada.	

1

Tabla 2. Actividades que contribuyen a la conservación del acuífero en la Península de Yucatán.

Consumo sólo lo necesario	Soy un usuario responsable	Reutilizo
Toma duchas cortas y cierra la llave mientras te enjabonas. Utiliza un vaso de agua para cepillarte los dientes. Lava tu coche utilizando una cubeta, evita el uso de mangueras. Riega a tus plantas o jardín durante la noche para evitar la evaporación del agua.	Reporta fugas de agua. Disminuye la producción de residuos sólidos, separa correctamente tus residuos y fomenta el reciclaje. Fomenta las buenas prácticas como turista: evita el uso de sustancias químicas cuando visites un cenote. No orino, ni defeco, ni tiro basura en él. Transmite tu conocimiento sobre el acuífero a miembros de tu familia y comunidad.	Capta el agua de lluvia y reutilízala para tareas de limpieza. Reutiliza el agua de la lavadora para lavar pisos o patios. Reutiliza el agua del hervor y desinfección de verduras, para el riego de las plantas.

2

¿Cómo ser un buen turista que contribuya a preservar los recursos naturales en el Caribe Mexicano?

1. *Si ingresas al mar o cenote, no uses bloqueador solar, en lugar de ello usa sombreros, playeras de manga larga o paliacate (buff) para protegerte del sol. Algunos compuestos químicos del bloqueador solar han provocado la muerte de más del 40% de nuestro arrecife de coral en los últimos 20 años.*

2. *Toma duchas cortas durante tu estancia, nuestra única fuente de agua dulce en la región proviene del acuífero.*

   ¡AYÚDANOS A PRESERVAR EL AGUA!

3. *Trae tu propia botella de agua y de café reutilizables, de esta manera contribuyes a evitar el uso de plásticos de un solo uso que contaminan nuestros cenotes y océanos.*

4. *Toma un baño antes de ingresar al cenote, es muy importante quitar todos los químicos y productos de uso diario (gel, desodorante, maquillaje) de nuestro cuerpo con el fin de prevenir la contaminación de los cenotes.*

5. *Apaga el aire acondicionado cuando estés fuera de tu habitación, de esta manera contribuyes a reducir las emisiones de dióxido de carbono.*

6. *No alimentes o toques los animales, por favor no alimentes a los animales si encuentras alguno durante tu estancia.*

7. *Elige alimentos sustentables (mariscos), verifica que tu platillo no provenga de especies en peligro de extinción o que se encuentren en temporada de veda.*

8. *Pregunta por las mejores prácticas de tu hotel, una vez que el hotel vea el interés de sus huéspedes por mejores prácticas de sustentabilidad para preservar los recursos naturales locales ellos comenzarán a cambiar su comportamiento.*

9. *Visita cenotes que cuenten con sistemas de tratamiento de aguas residuales. Antes de comprar un tour, verifica que el cenote que visitarás tenga un sistema de tratamiento de aguas negras o baños secos. De esta manera asegurarás que ellos no contaminan el acuífero.*

10. *Disfruta de nuestro entorno natural siendo responsable, tu puedes disfrutar de nuestra selva, dunas costeras, arrecife de coral y de nuestros cenotes siendo responsable.*

    ¡GRACIAS POR AYUDARNOS A CONSERVAR NUESTRAS MARAVILLAS NATURALES!

¡Tu también puedes ser un **Centinela del Agua!**

3.6 El acuífero y la cultura

El agua subterránea ha sido fundamental para el desarrollo humano en la Península de Yucatán, pues el agua jugó un papel importante en la cosmogonía de la cultura Maya. Muchas de las principales ciudades de esta cultura se edificaron en zonas aledañas a cenotes y se realizaron grandes obras de ingeniería para poder suministrarse del agua subterránea y realizar la práctica agrícola que dio sustento a sus ciudades **(Bauer-Gottwein et al., 2011; Faust y Folan, 2015).**

¡Dato Fankárstico!
La primera exploración en el cenote Sagrado de Chichen Itzá, en Yucatán se realizó entre 1904 y 1909, durante la cual buzos griegos extrajeron miles de piezas de cobre, oro y jade, así como un gran número de huesos y cráneos humanos. A partir de esta exploración, se pudo comprender un poco más sobre el uso de los cenotes como cámaras mortuorias.

En la tradición maya, el mundo de los muertos o Xibalbá se ubicaba en el subsuelo, donde el agua corre por los ríos subterráneos. Los cenotes eran la entrada al inframundo ya que, al morir, las almas descendían por los cenotes hacia el mundo de los muertos donde moraban los antepasados y dioses relacionados a la muerte como Hun Camé y Vucub Camé. Entonces, los cenotes eran sitios de transición entre el mundo de los vivos y los muertos, y su paso era parte de la existencia de las almas **(Amigos de Sian Ka´an, 2016).**

Figura 8. Ubicación de Calakmul y Cobá representando algunas ruinas Mayas dentro de la península de Yucatán

¡Dato Fankárstico!
Ciudades mayas como Calakmul, en Campeche y Cobá, en Quintana Roo contaban con sistemas de captación de agua de lluvia de cuatro etapas: 1ra. para capturar, 2da. para colectar, 3ra. redistribuir el agua de lluvia y 4to. Para dispersar el agua remanente de tormentas y ciclones para evitar la inundación de una zona urbana (Fig. 8).

Derivado de ese arraigo cultural a la naturaleza, en la Península de Yucatán se tiene una concepción especial hacia los cenotes y sus selvas. A través de la Ceiba o Yaxché, la cultura Maya concibe el cosmos como la parte celestial en la copa de la Ceiba, lo terrenal en la base del tronco y el inframundo a través de sus raíces que llegan a las cuevas, cavernas, grutas y cenotes. Esta cosmovisión, equivale a una visión de conexión en vertical con el mundo terrenal, el cielo y el inframundo.

Esta cosmovisión vertical a pesar de no ser ecológica (Fig. 9) ayuda a visualizar la relación que hay entre el acuífero (inframundo), con la vegetación y su vida en la selva (lo terrenal) y el agua que llega a las nubes por la evapotranspiración (lo celestial). A esta visión vertical en tiempos modernos, se suma el análisis de su importancia desde una visión horizontal, en donde se analiza y destaca la conexión desde la selva con los arrecifes a través de este maravilloso acuífero.

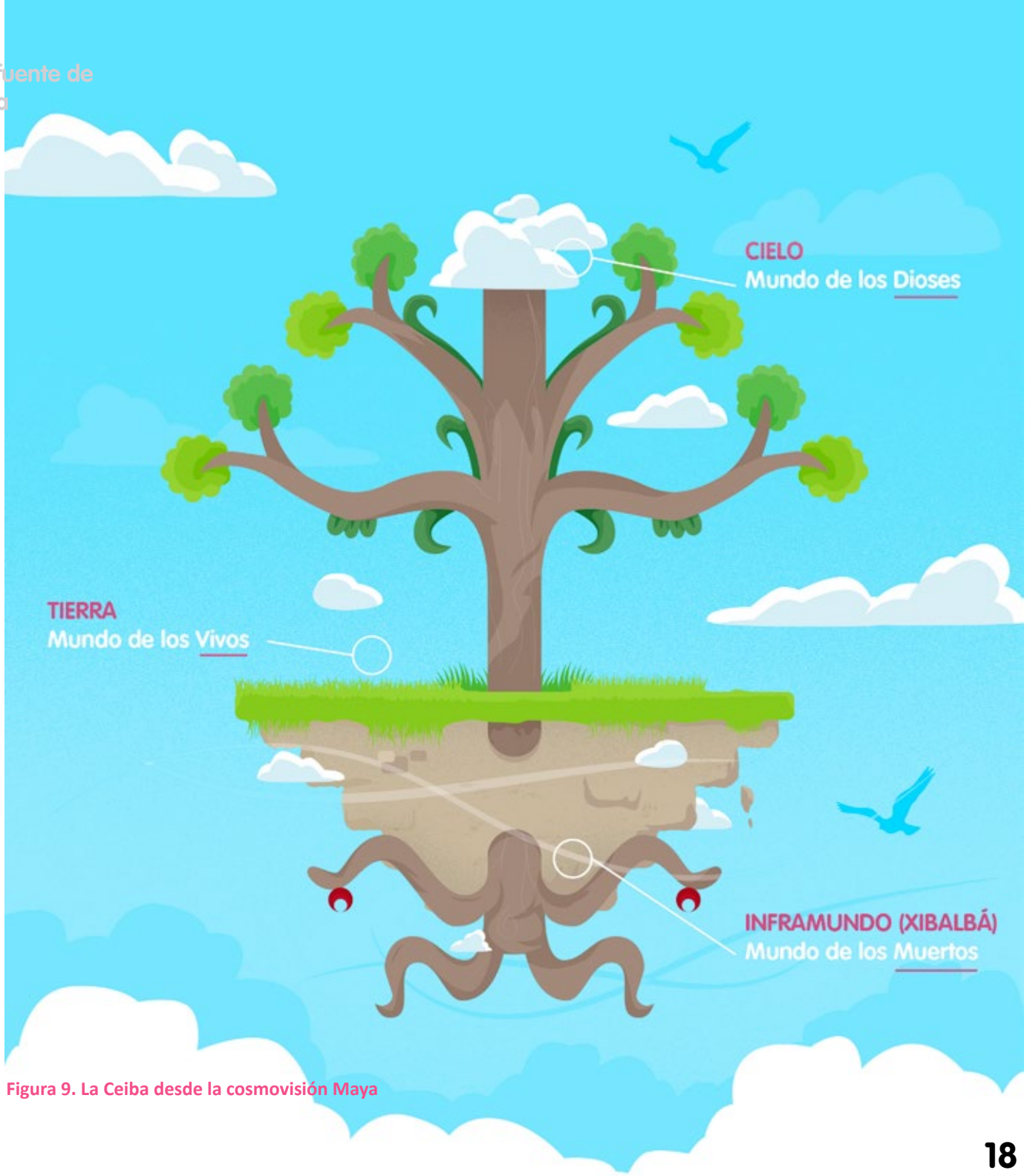


Figura 9. La Ceiba desde la cosmovisión Maya

3.7 Actividad 1 - ¿Qué tanto es tantito?

Aprendizajes esperados. Al finalizar la actividad, los participantes:

- Reconocen la limitada cantidad de agua dulce que tenemos disponible tanto para consumo humano como para abastecimiento de los ecosistemas en la Península de Yucatán.
- Identifican y valoran el acuífero como única fuente de abastecimiento de agua dulce en la Península de Yucatán.

Universo. 20 a 30 participantes desde nivel secundaria.

Materiales. Importante: Utilizar material reutilizado

- 1 cubeta de 20 l
- 1 botella de 1 l
- 1 botella de 250 ml
- 1 frasco de 10 ml
- 1 cuchara
- 1 gotero
- Cinta adhesiva o etiqueta
- Marcador

Instrucciones:

1 Rotula a cada uno de los recipientes de la siguiente manera:

2 Agrega a la cubeta 10 litros de agua. Esa agua representa a toda el agua contenida en nuestro planeta (mares, ríos, lagos, lagunas y glaciares) (Fig. 10).

3 De la cubeta que contiene toda el agua del planeta, toma 25 cucharadas de agua y agrégalas a la botella de 1 litro etiquetada como **"agua dulce".** Esta botella representa a toda el agua dulce que cae en forma de lluvia en México. Observa la cantidad de agua que quedó en el agua del planeta y que ahora representa al agua contenida en los océanos.

4 De la botella de **"agua dulce",** toma 8 cucharadas y colócalas en la botella de 250 ml rotulada como **"agua de ríos, lagos y lagunas".** Esta botella representa toda el agua de lluvia que cae en México y que escurre a través de ríos, lagos y lagunas.

5 De la botella de **"agua dulce",** toma 20 gotas y transfiérelas al frasco de 10 ml rotulado como **"agua subterránea".** Este frasco representa la fracción de agua de lluvia que llega hasta los acuíferos, recargándolos de nuevo con agua y abasteciendo a todos los ecosistemas. Ésta es también el agua que utilizamos para nuestras actividades humanas.

6 ¿Mientras pasabas agua de un recipiente a otro, sufriste pérdidas?, esas pérdidas representan al agua que regresa a la atmósfera por medio de la evaporación y la evapotranspiración.

7 Toma la botella de agua subterránea y forma equipos, de igual número de integrantes. Cada equipo deberá elegir una de las siguientes actividades: agricultura, ganadería, consumo humano, turismo o ecosistemas.

8 Conversen en grupo, cómo repartirían al agua subterránea para abastecer a cada una de las actividades en los diversos sectores productivos. Tomando en cuenta que el agua subterránea es la única fuente de agua dulce en la Península de Yucatán:

- ¿Cuántas gotas destinarían a la agricultura?
- ¿Cuántas a la ganadería?
- ¿Cuántas a consumo humano (lavar, cocinar, baño, etc.)?
- ¿Cuántas gotas para realizar actividadesrecreativasyturísticas (hoteles, restaurantes)?
- ¿Cuántas para dar soporte a ecosistemas como manglar, humedales, selva?
- ¿De todas las actividades cuál es más importante? ¿La menos importante?
- ¿Cuánta agua queda en la botella? ¿Crees que es importante cuidarla?

Figura 10. Secuencia de pasos. Actividad ¿Qué tanto es tantito?

1 Agrega 10 litros de agua al contenedor **"agua en el planeta"**

3 Transfiere 8 cucharadas de agua al recipiente de **"agua de ríos, lagos y lagunas"**

2 Transfiere 25 cucharadas de agua al recipiente de **"agua dulce en México"**

4 Transfiere del recipiente de agua dulce 20 gotas de agua al recipiente **"agua subterránea"**

¿CUÁNTAS GOTAS?

3.8 Actividad 2 - Filtro kárstico

Dato a tener en cuenta. Los **suelos** son un primer filtro para los contaminantes que se infiltran con la lluvia. Dependiendo de sus compuestos como cantidad de materia orgánica, minerales o granulometría, tendrán diferentes capacidades de retención de contaminantes.

Aprendizajes esperados. Al finalizar la actividad, los participantes:

- Reconocen las características de un suelo kárstico y su existencia en la Península de Yucatán.
- Identifican la relación directa que hay entre las características de los terrenos kársticos y la calidad y cantidad de agua disponible en el acuífero.

Universo: 20 a 30 estudiantes desde nivel secundaria.

Materiales

- 5 botellas PET 1L recicladas, sin tapa
- Algodón
- Carbón
- Arena
- Sascab
- Agua sucia (jabonosa, con tierra o lodo).
- Cúter
- 5 gasas

Instrucciones:

1. Formar 5 grupos, cada equipo realizará un filtro. Deberán tomar una botella por equipo y cortar la base cuidadosamente (ver imagen). El armado del filtro se realizará colocando una capa de cada material siguiendo este orden: algodón (en la boca de la botella), 1 capa de sascab, 1 capa de arena, 1 capa de carbón (ligeramente triturado) y finalmente colocar la gasa (Fig. 11).
2. Una vez elaborado el filtro, vierte aproximadamente 1 litro de agua sucia – que será la representación del agua contaminada – por la base de la botella y la verás salir por la boca de la botella.
3. Colecta el agua que se filtró en un recipiente transparente.
4. **Comenta entre tus compañeros de equipo o en plenaria:**
   - ¿Qué aspecto tiene el agua? Si salió más limpia quiere decir que funcionó el filtro.
   - ¿Qué similitudes encuentras entre el filtro y la geología de la Península de Yucatán?
   - ¿Qué pasa si eliminas una de las capas del filtro, seguirá funcionando?
   - ¿Si aumentamos la cantidad de agua contaminada, el filtro seguirá funcionando?

Figura 11. Elaboración de nuestro filtro kárstico.

IV. Visión ecosistémica de la **Península de Yucatán**

Campeche, Yucatán y Quintana Roo son los tres estados que conforman la Península de Yucatán **(PY)** (Fig. 12), localizada al sureste de la República Mexicana, es un terreno consolidado principalmente por roca formada de Carbonato de Calcio ($CaCO^3$), conocido como terreno **kárstico** y con una **topografía** relativamente plana. El suelo de la región es de espesor muy delgado debido a la naturaleza del mismo, presenta un clima cálido–árido en el norte y un clima cálido- subhúmedo en el sur.

La PY cuenta con un **litoral** de mil 250 kilómetros de largo, colindando del lado este al mar caribe y sus lados norte y oeste con el Golfo de México (Herrera et al., 2005). La principal fuente de agua dulce en la PY proviene de las aguas de lluvias, acumuladas de forma subterránea en los **acuíferos,** mismos que influyen en el funcionamiento de los ecosistemas costeros.

Figura 12. Ubicación geográfica de la península de Yucatán y su zona litoral.

4.1 El agua conecta a los ecosistemas

La PY está conformada principalmente por roca caliza. Debido a la permeabilidad de esta roca se presenta un drenaje vertical, es decir, el agua se filtra desde la superficie a través del suelo y en forma vertical debido a la porosidad de la roca, por lo tanto, en esta zona dominan los aportes de agua dulce provenientes de la lluvia.

Por la vía subterránea, **se forman corrientes de agua;** estas se mueven desde el centro de la península hacia los litorales hasta descargar en las costas, ya sea en el mar o en las **lagunas costeras,** muchas de estas lagunas se encuentran a lo largo de todo el **litoral** (Fig. 13) y tienen un rol fundamental en la transición característica en la PY de los ecosistemas acuáticos y terrestres, en estas lagunas hay una mezcla de agua dulce y agua salada, sumada a la influencia de mareas y vientos, siendo un medio de conexión directa entre las zonas marinas y terrestres (Herrera y Cortés, 2007).

Figura 13. Ubicación de las principales Lagunas costeras en la Península de Yucatán.

Como podemos observar en la Fig. 14, el perfil costero peninsular está constituido por el acuífero en el subsuelo, la selva que se encuentra tierra adentro, pero a su vez se conecta con el manglar, que al ser un ecosistema costero establece la conexión directa entre las dunas costeras que son el medio de transición entre los ecosistemas terrestres con los ecosistemas marinos como los pastos marinos y arrecifes.

A lo largo de este manual, comprenderás que todo está interconectado entre sí por medio del acuífero y por ello la importancia de conservarlo (Herrera et. al., 2005).

Todo este entorno natural existente en la PY, además de proporcionarnos abundantes **servicios ecosistémicos,** es un gran atractivo turístico y recreativo. Sin embargo, son ecosistemas sumamente frágiles y vulnerables a cualquier alteración de sus ciclos naturales.

Figura 14. Representación de la conexión ecosistémica de Quintana Roo. Tomado y modificado de: Herrera et. al., 2005

4.2 Conectividad ecológica de los ecosistemas

En la Península de Yucatán, y en la costa de Quintana Roo especialmente, existen condiciones de conectividad que tienen origen desde la formación misma de la península, de tal forma que la conectividad es; geológica, geoquímica, hidrológica, físico y bio-química, biológica y por supuesto ecológica, como se observa en la **Fig. 16**

Como consecuencia de lo anterior, los ecosistemas costeros están unidos por una gran cantidad de interacciones que los unen en una estructura compleja y dinámica **(Fig. 15).**

Figura 15. Importancia e interacción de los ecosistemas marino - costeros.

Desde el interior de la Península hasta el mar, se encuentran las selvas altas y medianas, selvas inundables, lagos kársticos de agua dulce, lagunas salobres, lagunas costeras estuarinas, sistemas de canales, manglares, dunas, lagunas de arrecife, praderas de pastos marinos y arrecifes de coral. Todos estos ecosistemas se unen con una continuidad paisajística, así como con procesos biológicos de flujo de materia y energía.

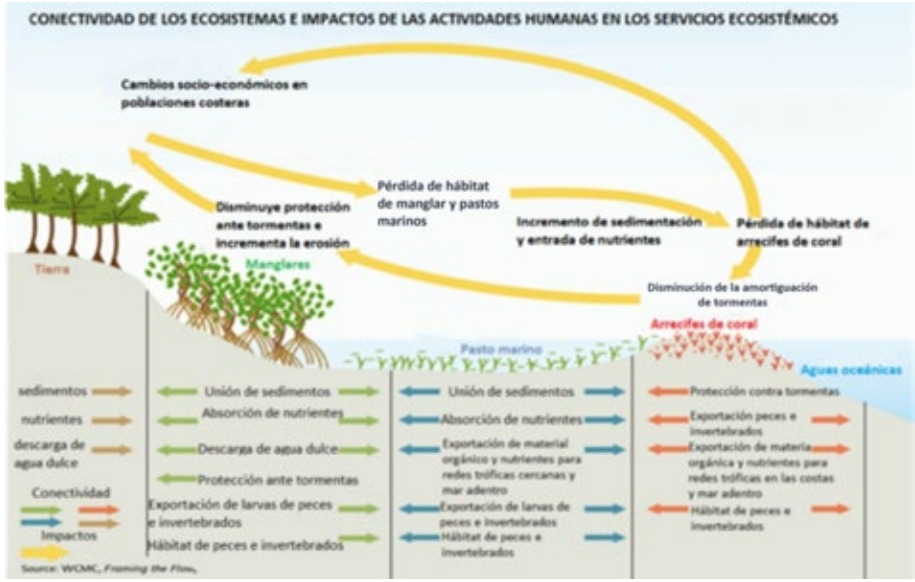


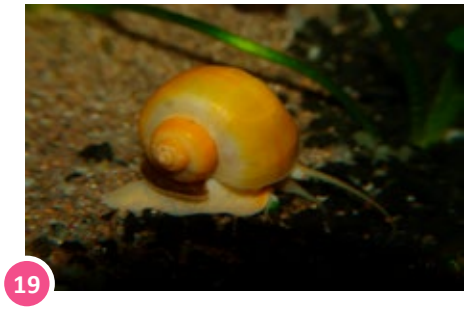
Figura 16. Conectividad de los ecosistemas por el acuífero en la PY.

El Dr. Héctor Hernández Arana, en el libro: **Biodiversity and Conservation of the Yucatán Peninsula,** ha descrito y ejemplificado esta conectividad y ha nombrado como **"corredores costeros transversales"** al modelo que permite entender la forma en la que los ecosistemas costeros están acoplados de manera transversal a la costa, como si fuera un sistema de engranajes en donde ocurren las conexiones, interacciones e intercambios ecológicos. Este entorno ambiental permite la coexistencia de ecosistemas acuáticos únicos interconectados a partir de manglares, como por ejemplo los **estromatolitos.**

Esta conectividad ecológica no es tan visible como la hidrológica, sin embargo, el estudio de la biogeoquímica, y los ciclos de vida de diferentes especies evidencian la gran cantidad de intercambios biológicos presentes en los gradientes horizontales y verticales. La intrincada red de canales inundados permanente y temporalmente facilita las conexiones biológicas y permite el transporte, movimiento y establecimiento de organismos de agua dulce, ambientes salobres (mezcla de agua dulce con agua salada) y ambientes marinos.

17

18



19

Fig. 17 Pez Sábalo (*Megalops atlanticus*) foto cortesía de @lotlmoq.
Fig. 18 Tortuga Blanca (*Dermatemys mawii*), foto cortesía de Antonio Ramírez.
Fig. 19 Caracol Manzana (*Pomacea canicunata*) foto cortesía de @ realhawkman.

Algunos de estos organismos incluyen al pez sábalo *Megalops atlanticus* (Fig. 17) (Valenciennes 1847) que se encuentra en agua dulce interior cenotes, así como registros de larvas, juveniles y adultos en arrecifes, lagunas y humedales a lo largo de la costa del Caribe mexicano (Schmitter-Soto et al. 2002). El pez cíclido *Cichlasoma sp.* tiene una distribución que abarca desde las lagunas de agua dulce hasta la costa occidental de la bahía de Chetumal. La tortuga blanca *Dermatemys mawii* (Fig. 18) (Gray 1847), es la tortuga de agua dulce más grande de México y catalogada como especie en peligro de extinción, se encuentra en todas las lagunas de agua dulce, ríos y arroyos que bordean al oeste orillas de la bahía de Chetumal. El caracol manzana *Pomacea sp.* (Fig. 19) se distribuye por todos los lagos de agua dulce que alcanzan ambientes salobres como la Laguna Guerrero. El mejillón rayado negro *Mitilopsis sallei* (Recluz 1894) es nativo del Caribe y se ha adaptado a ambientes salobres y de agua dulce desde la Bahía de Chetumal hasta la Laguna Bacalar.

CONECTIVIDAD ECOSISTEMICA

1. Selva baja | 2. Manglares | 3. Dunas | 4. Lagunas costeras | 5. Pastos Marinos | 6. Arrecife | Estromatolitos

Fig 20. Conectividad ecológica de los ecosistemas.

Comprender los procesos y mecanismos que prevalecen en los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán, y su conectividad (Fig. 20) puede ayudarnos a proponer y establecer estrategias más efectivas para el mantenimiento y conservación de los bienes y servicios ambientales que tomamos de los ecosistemas costeros.

4.3 La cultura conecta a los ecosistemas

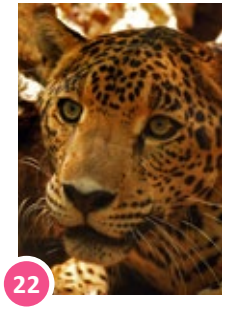
Algunas poblaciones Mayas se asentaron a lo largo de la costa de la Península de Yucatán, las cuales, por la magnitud de los sitios arqueológicos, debieron ser muy importantes; se encuentran zonas arqueológicas de grandes ciudades como **Chichén Itzá** en Yucatán, que es una de las siete

maravillas del mundo moderno. También podemos encontrar a **Calakmul** en Campeche que es la más imponente ciudad del periodo clásico y **Tulum** en Quintana Roo que fueron de las únicas construcciones Mayas situadas a la orilla del mar (Fig. 21). Aun así, según investigaciones de arqueología subacuática a lo largo de la barrera de coral, cerca de la costa se localizan estructuras mayas que pudieron haber servido como muralla natural para frenar barcos enemigos (Tierra Maya, 2020).

Para la cultura maya **la selva** proporcionaba todo el sustento de vida (servicios ecosistémicos) de manera directa ya que en ella habitan diversas especies de flora y fauna tanto alimenticias como sagradas dentro de su cosmovisión. De los ejemplos más importantes, destacamos al Jaguar *(Panthera onca)* (Fig. 22) ó Balaam en Maya, que era un símbolo de poder; la ceiba *(Ceiba pentandra)* ó Yaxche (Fig. 23), a través de la cual se concibe el cosmos como la parte celestial en la copa de la **Ceiba,** lo terrenal en la base del tronco y el inframundo a través de sus raíces que llegan a las cuevas o cenotes que eran la entrada al inframundo ya que al morir, las almas descendían a través de los **ríos subterráneos** en dirección al mundo de los muertos, hacia el sitio donde moraban los antepasados y dioses relacionados a la muerte.

Figura 21. Ubicación de Calakmul, Tulum y Chichen Itzá, representando algunas ruinas Mayas dentro de la península de Yucatán.

De esta manera, siempre ha estado presente una conexión ecosistémica, ya que, como ejemplo, también fueron conscientes del papel protector que **los manglares** tenían tanto para ellos como para sus ciudades, cultivos y los animales de los cuales se alimentaban pues el manglar brinda un servicio ambiental principalmente para el desove de los peces que consumían. Al ser un ecosistema prácticamente costero, los manglares se encuentran aledaños a la **duna costera,** donde habita el Colibrí cola hendida (*Doricha eliza,* que es un símbolo místico de una leyenda maya. Las dunas son nuestro medio de transición directa hacia los ecosistemas de la zona marina con los **pastos marinos,** mismos que, para la cultura Maya, proporcionaban servicios ecosistémicos de manera indirecta, ya que son el alimento de algunas especies de tortugas marinas, animales importantes dentro de su **cosmogonía.**



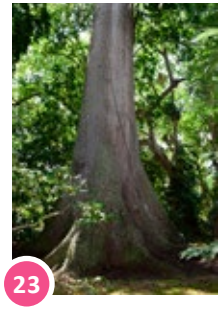


Figura 22. Jaguar *(Panthera onca),* foto cortesía de Río Secreto.
Figura 23. Ceiba *(Ceiba petranda),* foto cortesía de J. Itzel Castillo.

V. Selva

Las selvas tienen una gran influencia en la vida de todos los seres vivos del planeta, al ser reguladoras de clima, además de ser grandes reservas de carbón fósil, petróleo y gas, así como importantes proveedores de servicios ambientales. Las selvas, además, representan el hábitat de muchas tribus nativas que tienen sus propias culturas y conocimientos.

Dato Fankárstico ... *La selva tropical es el hábitat de aproximadamente el 75% de todas las especies conocidas de plantas y animales terrestres de todo el mundo.*

Durante la temporada de lluvias, el conjunto de masa vegetal y suelos de la selva, funcionan como esponjas gigantescas, que influyen en el balance hídrico y térmico de toda la tierra (Stihl, 2008), es por ello que su conservación es de suma importancia. La selva de la Península de Yucatán, tiene una extensión de más de 40 mil kilómetros cuadrados y es la segunda selva mejor conservada en América después de la selva del Amazonas.

Las selvas se clasifican según la altura de las copas de los árboles en: altas (de más de 30 m), medianas (entre 15 y 30 m) o bajas (menos de 15 m). De acuerdo a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), también se clasifican de acuerdo a la caída de sus hojas en:

- Perennifolias: son las selvas donde menos del **25%** de las especies pierden sus hojas, selvas que están verdes todo el año. La contraparte de este tipo de selvas son las caducifolias. **Del latín perennis ("por (todo) el año") y folium ("hoja").**
- Subperennifolias: son las selvas donde del **25%** a **50%** de las especies pierden las hojas.
- Caducifolias: selvas donde más del 75% de las especies pierden sus hojas, está formada en su mayoría por matorrales durante gran parte del año. **Del latín cadere ("caer") y folia ("hoja")**
- Subcaducifolias: son las selvas donde el 50 a 75% de las especies pierden las hojas

5.1 Distribución

Las selvas tropicales están ubicadas en la región comprendida entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio, encima y debajo del Ecuador (la línea ecuatorial), como se observa en la Fig. 24. En esta zona tropical los rayos del sol inciden directamente, por lo que la cantidad de horas de luz diaria casi no cambia a lo largo del año, ayudando a mantener un clima cálido y relativamente estable (Stihl, 2008).

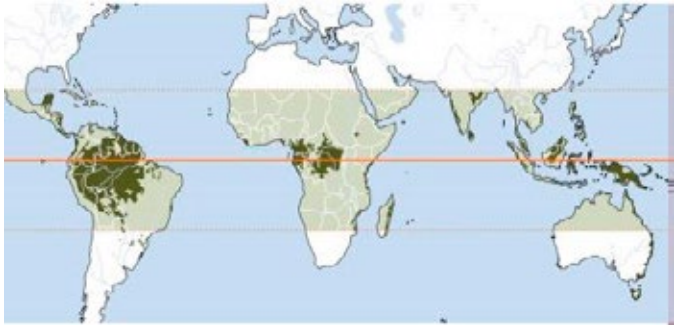


Figura 24. Ubicación de las selvas tropicales en el mundo. Tomado de: Stihl, 2008.

En **México** tenemos dos tipos de selva: Selva seca y Selva húmeda. Las **selvas secas** (Fig. 25) crecen en lugares cálidos, en dónde las estaciones son muy marcadas. Durante la temporada de lluvias, la selva está muy verde, crecen las plantas y los árboles tienen hojas. Sin embargo, en la temporada de secas, o sea cuando no llueve, las plantas se secan y los árboles pierden sus hojas quedando solo el tronco y las ramas sin nada de follaje (deciduo), por lo que aquí predominan los árboles pequeños (CONABIO, 2019).

Figura 25. Selva Seca en la Península de Yucatán foto cortesía de: CICY

¡Dato Fankárstico! Las selvas secas también son conocidas como: selva baja caducifolia, bosque tropical **deciduo**, selva baja decidua, selvas subhúmedas, aludiendo a sus características.

Figura 26. Mapa de la ubicación de algunas selvas secas dentro de la República Mexicana.

Las selvas secas (Fig 26.) se encuentran del lado del Océano Pacífico, desde Sonora hasta Chiapas y en la Cuenca del río Balsas.

Las **selvas húmedas** crecen en lugares cálidos y en dónde existe mucha humedad durante todo el año. Están formadas por árboles de hasta 30 m o más de alto, con una gran diversidad de especies de flora que conservan su follaje todo el año (perennifolias). Además, abundan las lianas, epífitas y palmas. La mayoría de los árboles tienen hojas grandes y duras. Se presentan en climas cálido-húmedos y la mayor parte de estas selvas húmedas crecen sobre rocas calizas que forman el paisaje kárstico por lo que el agua escurre por grietas directamente al subsuelo (CONABIO, 2019).

Figura 27. Mapa de la ubicación de algunas selvas húmedas dentro de la República Mexicana.

Las selvas húmedas en México se encuentran del lado del Golfo y del Caribe (Fig. 27), desde Tamaulipas hasta Quintana Roo y en parte de Chiapas.

¡Dato Fankárstico!... *Las selvas húmedas también son conocidas como: Selva alta perennifolia o bosque tropical perennifolio.*

En la PY, particularmente en el estado de Quintana Roo se encuentran tres tipos de selva: caducifolia, subcaducifolia y subperennifolia (INEGI, 2011).

La selva baja **caducifolia** se presenta de manera restringida, y en especial en el estado de Quintana Roo, ya que su desarrollo está asociado a los afloramientos de roca. En este tipo de selva la poca precipitación favorece el crecimiento comunidades vegetales de líquenes, epífitas y cactáceas.

La selva **subcaducifolia,** popularmente conocida como akalché, se encuentra a lo largo de las formaciones de pastizales y se desarrolla en suelos que son ricos en materia orgánica derivada de zonas de inundación durante la época de lluvias. Por lo tanto, el drenaje en este ecosistema es muy lento. Entre las especies presentes en este tipo de selva dominan el palo de tinte *(Haematoxylum campechianum)* junto con la muy che *(J. aurantiaca).* Por la dominancia del tinte, estas comunidades son conocidas como tintales, en tanto que a los pastizales asociados con selvas inundables les denominan sabanas (Fig. 28). Esta combinación de asociaciones vegetales es única en el Área de Protección de **Flora y Fauna de Yum Balam** y probablemente en todo **México.**

La selva mediana **subperennifolia** se caracteriza por la presencia de árboles que alcanzan los 15 a 20 metros de altura.Este tipo de selva puede encontrarse en una gran porción del estado de Quintana Roo y Campeche y es menos común en Yucatán. La vegetación presente en este tipo de selva, se desarrolla en un suelo conformado de roca caliza que facilita la recarga del acuífero y permite a la vegetación abastecerse de ella.

En este tipo de selva podemos encontrar especies como el alzapote *(Manilkara zapota),* el ramón *(Brosimun alicastrum),* la guaya *(Talisia olivaeformis),* el chaká *(Bursera simaruba),* el chechén (M. brownei), el tsalam *(Lysiloma latisiliquum),* la palma chiit *(Thrinax radiata)* (Fig. 29) y el cedro rojo (*Cedrela odorata)* y en el **sotobosque** es posible observar a la ceiba *(Ceiba petandraa)* que es muy importante en la cultura maya (Vega y Cepeda, 2006).

5.2 Servicios Ambientales

En las selvas presentes en la PY se alojan una representación importante de especies de flora y fauna endémicas de la región, amenazadas, sujetas a protección especial o en peligro de extinción de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana **NOM-059-SEMARNAT-2010.** Además, este gran ecosistema contiene características que le permiten conectarse con otros ecosistemas aledaños que son igual de importantes. Por lo tanto, la selva nos brinda un gran número de servicios ambientales (Tabla 3), entre los que se encuentran:

Figura 28. Sabana en la Península de Yucatán, foto cortesía de CICY

Figura 29. Palma Chiit *(Thrinax radianta),* foto cortesía de E. Ciau.

Tabla 3. Servicios ambientales que nos brinda la Selva. Tomado de: CONAFOR, 2010.

	Función	Importancia Ambiental
1	Recarga de mantos acuíferos	La selva favorece la recarga de los mantos acuíferos (agua subterránea), de donde se obtiene el agua que se ocupa en la vida diaria.
2	Aporte de oxígeno	Los árboles y las plantas capturan dióxido de carbono del aire y liberan oxígeno al ambiente, a través de la fotosíntesis
3	Regulación del clima	Su densa vegetación disminuye los efectos de fenómenos naturales como huracanes, ciclones o tormentas que pueden causar desastres naturales.
4	Materias Primas	Las selvas han sido tradicionalmente fuente de maderas preciosas, leña y una extensa diversidad de plantas y animales.
5	Polinización	La producción de miel depende de múltiples especies de abejas nativas (melipona), europeas y africanizadas que polinizan más de 100 especies de plantas de las selvas húmedas.
6	Evapotranspiración	Las plantas toman agua del subsuelo y a través de la traspiración por las hojas aporta grandes cantidades de agua a la atmósfera, lo que que contribuye a preservar el ciclo del agua.
7	Evita la erosión	Las grandes y densas raíces de los árboles en las selvas y la vegetación en general ayudan a fijar el suelo. Cuando los árboles son cortados, el suelo queda desprotegido y se pierde, ya que es rápidamente lavado por la lluvia.

3

5.3 Amenazas para la selva

Entre las amenazas que afectan la conservación de estos ecosistemas (Tabla 4) y los servicios ambientales que proveen, se encuentran factores naturales, tales como los huracanes e incendios; así como factores antropogénicos. La siguiente tabla resume las amenazas más comunes.

Tabla 4. Amenazas presentes para la selva. Adaptado de: CONANP, 2018.

Origen	Amenaza
Natural	Perturbaciones atmosféricas. Incendios. Invasión de especies exóticas.
Humana	Tala inmoderada de árboles. Establecimiento de nuevas. áreas agrícolas/ganaderas. Desarrollos turísticos. Creación de nueva infraestructura. Cambio del uso de suelo. Sobrepesca. Contaminantes domésticos que se filtran a los acuíferos.

5.4 ¿Cómo cuidar a las selvas?

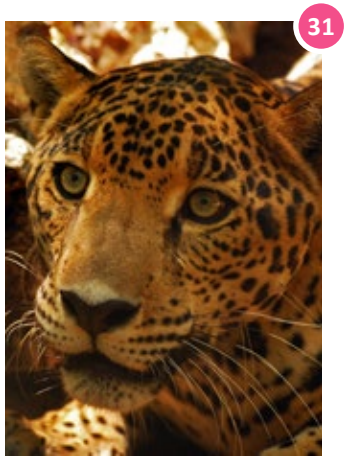
- **INFÓRMATE.** Sobre las especies que habitan en las selvas de México, qué es lo que hacemos los humanos que las daña y cómo las podemos cuidar. Denuncia si ves que alguien daña o tiene como mascota una especie en alguna categoría de riesgo o de vida silvestre
- **RESPETA.** Cuando visites una selva, respeta las plantas y animales que habitan en ella.
- **EVITA LOS DESECHOS.** A tu paso, no dejes basura y recoge la que encuentres, aunque no sea tuya. Muchos animales mueren por ingerir bolsas, botellas, colillas u otros objetos tirados por los visitantes.
- **PARTICIPA.** Con grupos u organizaciones que ayudan a conservar la naturaleza llevando a cabo actividades para reforestarlas y mantenerlas limpias.
- **CONSUME RESPONSABLEMENTE.** Piensa en las cosas que usamos que pueden utilizar menos energía y en cuales producen menos basura.

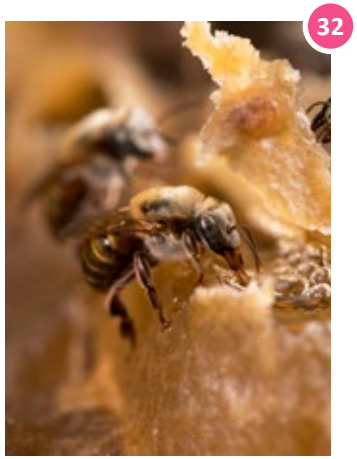
5.5 Las selvas y la cultura

Es bien conocida la importancia que tuvo la selva para el desarrollo de distintas civilizaciones en todo el mundo y en especial para los mayas, debido a la estrecha relación que ellos mantenían con la naturaleza. Para la cultura maya la selva les proporcionaba los servicios ecosistémicos de manera directa, ya que en ella habitan diversas especies de flora y fauna sagradas dentro de la cosmogonía Maya, como La ceiba (Yaxché) (Fig. 30) que representaba **"El árbol que sostiene el universo"** (Marion, 2004).

También encontramos al Jaguar (Balaam) (Fig. 31) que era símbolo de poder. Los personajes que utilizaban vestimentas de jaguar era una persona con autoridad e importancia en la sociedad. **El Dios del Sol se transformaba en jaguar para poder viajar durante la noche por el mundo de los muertos** (Peña, 2017).

Y no podía faltar la abeja melipona (Fig. 32), conocida como la **"Abeja sagrada Maya"** por las propiedades curativas de su miel y por ser grandes polinizadores de cultivos.





5.6 Visión Ecosistémica

Las diversas expresiones culturales en las que se aprecia la biodiversidad coinciden en esta conexión entre especies y ecosistemas, en estos movimientos y enlaces, en estos eslabones invisibles que la existencia de un individuo permite que otro permanezca en el tiempo. De esta manera, en la Península de Yucatán, las selvas que se encuentran más tierra adentro se conectan con los manglares de las zonas costeras, contribuyendo así a una riqueza biológica especial.

Figura 30. La Ceiba (Yaxché), El Arbol Sagrado Maya,foto cortesía de J. Itzel Castillo. | Figura 31. Jaguar (Balaam en Maya), foto cortesía de Río Secreto. | Figura 32. Abeja Melipona "Abeja Sagrada Maya", foto cortesía de Río Secreto.

5.7 Actividad 3 – Llueven ideas en la selva

Aprendizajes esperados. Al finalizar la actividad, los participantes:

- Reconocen las características propias a los ecosistemas de selva.
- Identifican las interconexiones entre la selva, el acuífero y los demás ecosistemas de la PY.
- Relacionan la dependencia de la selva con el acuífero.

Universo: Equipos de 3 a 6 participantes.

Material: Hojas de papel para reutilizar, una cartulina, papel rotafolio o un pliego de papel de aproximadamente 50x50cm en donde puedan hacer un esquema visible para todo el grupo.

Instrucciones:

1 Una vez concluido abordados los conceptos de las características de la selva, los alumnos se dividirán en equipos y dibujarán un esquema de selva al centro de su pliego de papel, con base en lo que han aprendido.

2 Posteriormente, cada equipo agregará a su esquema/dibujo una lluvia de ideas y conceptos sobre las principales características de las selvas.

3 El facilitador compartirá las siguientes preguntas generadoras, a las que los participantes responderán en su pliego de papel con palabras, dibujos o frases cortas:

- ¿Cuál es el rol de la selva en el ciclo del agua?
- ¿Qué puedo hacer para proteger las selvas?
- Menciona dos servicios ecosistémicos que nos provee la selva.
- ¿Qué tipo de selva tenemos en la península de Yucatán?
- ¿De qué manera se conecta la selva con el manglar y nuestro acuífero?

En cuanto hayan concluido su lluvia de ideas, la compartirán en plenaria con el resto del grupo. El facilitador guía las respuestas hacia los aprendizajes esperados.

5.8 Actividad 4 – Todo está conectado

Se recomienda hacer esta actividad al aire libre. Es importante que los participantes tengan claro el concepto de ecosistema y biodiversidad antes de realizar la actividad. Puedes consultar el Glosario de la sección final de este Manual.

Aprendizajes esperados. Al finalizar la actividad, los participantes:

- Toman consciencia de la interconectividad fuera y dentro de los ecosistemas.
- Reconocen lo fácil que es perturbar el balance en un ecosistema al destruir un solo organismo y que cualquier cambio afecta a otro drásticamente.
- Reconocen que todas las especies y elementos naturales, juegan un importante rol en la red de la vida.

Universo: Más de diez participantes

Material: Hojas para reutilización cortadas a la mitad, o tarjetas de cartón reutilizado, cinta adhesiva, 1 marcador negro, una bola grande de estambre o lazo (entre más estudiantes sean se necesitará más estambre).

Instrucciones:

1 Los participantes forman un círculo.

2 Se les asignará un nombre individual que está relacionado con el ecosistema de la selva, los nombres asignados deberán incluir especies de flora, fauna y elementos naturales. Los participantes escriben el nombre en las hojas o carteles y lo portan en un lugar visible. **A continuación, algunas propuestas:**

FLORA

- *Orquídea*
- *Bromelia*
- *Cedro rojo*
- *Caoba*
- *Cacao*
- *Zapote*
- *Chaká*
- *Chechem*
- *Palma*
- *Caimito*
- *Yaca*
- *Ceiba*

FAUNA

- *Mono araña*
- *Mono aullador*
- *Coati*
- *Oso Hormiguero*
- *Mapache*
- *Venado*
- *Armadillo*
- *Nutria*
- *Tapir*
- *Jabali*
- *Tlacuache*
- *Águila*
- *Guacamaya*
- *Hocofaisán*
- *Tucán*
- *Tortuga*
- *Iguana*
- *Cascabel*
- *Rana*
- *Sapo*
- *Cocodrilo*
- *Caracol*
- *Gusano*
- *Abeja melipona*
- *Semillas*
- *Frutos secos*
- *Hormiga*
- *Milpies*
- *Araña*
- *Escorpion*
- *Insectos*

ELEMENTOS NATURALES

- *Agua subterránea*
- *Agua de Lluvia*
- *Luz de sol*
- *Suelo*
- *Persona*
- *Oxígeno*
- *Dióxido de Carbono*

3 El profesor le da el estambre a uno del círculo y él o ella pasa el estambre a otra parte del ecosistema del que sabe que él o ella necesita para sobrevivir.

4 La segunda persona elegirá otro elemento u organismo dentro del mismo círculo del que él/ella cree que también necesita para subsistir, y así sucesivamente.

5 Es muy importante mantener tenso el estambre, ya que así se apreciará mejor el resultado de todas las interconexiones entre los participantes. El facilitador debe asegurarse de ello.

6 Este es un signo de que existe un balance en el ecosistema, el estar intercambiando la cuerda es un proceso continuo, cuando todos los organismos sujeten la cuerda juntos, el destructor del ecosistema debe de aparecer.

7 El facilitador, tiene la tarea de crear un desbalance dentro del sistema quitando algún elemento, tocando la espalda de algún participante dentro del círculo, siempre argumentando por qué retira ese elemento, por ejemplo: **“Un día llega un cazador y mata al venado” ….**

8 Este organismo puede entonces soltar la cuerda de sus manos como un signo de que él o ella ya no forma parte de la red de la vida.Quien se encuentre conectado con él a través del estambre puede morir o colapsar, así se avanza sucesivamente quitando demás elementos hasta que el resto que se encuentra conectado a la red de la vida puede ser disminuido o incluso desaparecer.

9 Los estudiantes pueden ver que los cambios extremos en un ecosistema afectan más que a un solo organismo y que todos los seres vivos dependemos de muchos otros factores para sobrevivir.

10

▶ Al finalizar, el facilitador deberá guiar la reflexión de lo que sucedió durante la actividad utilizando preguntas generadoras que conduzcan a los participantes a los aprendizajes esperados.

VI. Manglar

Los manglares, regionalmente conocidos como “mangles”, son una formación vegetal leñosa, densa, arbórea o arbustiva de 1 a 30 metros de altura y con poca presencia de especies herbáceas y enredaderas (CONABIO, 2020).

Forman parte del ecosistema constituido por árboles o arbustos que crecen en las zonas costeras de regiones tropicales y subtropicales (Tomlinson, 1986). En general tienen raíces modificadas para absorber agua y aire (Fig. 33). Algunos excretan sales por las hojas y sus frutos germinan en el árbol antes de caer.

Los distintos tipos de mangles forman el ecosistema de manglar (Moreno e Infante, 2016).

Pueden abarcar desde una estrecha franja de pocos metros de ancho, de forma continua o discontinua, hasta densos bosques de cientos de hectáreas (Díaz, 2011). Algunos llegan a encontrarse en cenotes tierra adentro, posiblemente llevados sus propágulos por acción del viento o fauna terrestre y encontrando las condicioneshidrológicas adecuadas para su crecimiento.

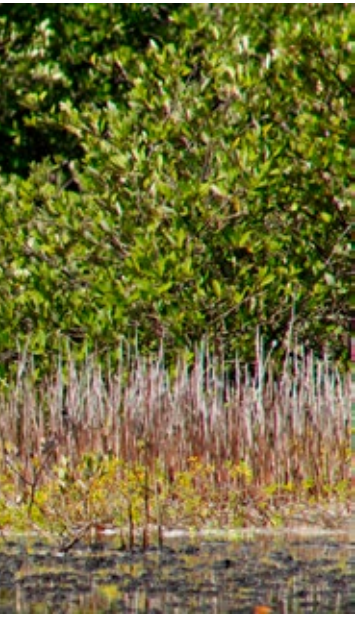
Este ecosistema es una zona de transición entre los ecosistemas aledaños: terrestres y los marinos. Frecuentemente existe una conectividad entre los manglares, los pastos marinos y los arrecifes de coral que permite el flujo de las especies que viven en ellos (Rodríguez et al., 2013).

¡Dato Fankárstico!...

Los manglares tienen diversos mecanismos de eliminación de sales, por ejemplo, el género Avicennia excreta la sal excedente vía glándulas en las hojas, que se observa como pequeños cristales sobre éstas, mientras que Laguncularia acumula las sales excedentes en las hojas senescentes.

Figura 33. Mangle Negro *(Aviccenea germinans)*, foto cortesía de Reymundo Ku.

Figura 34. Zonas con manglar en el mundo. Tomado y modificado de Moreno e Infante, 2016.



6.1 Distribución

En el mundo se registran alrededor de 70 especies de manglar, como se observa en la (Fig. 34) (Polidoro et al., 2010), agrupadas en diferentes familias y géneros. Indonesia y Australia reportan 45 y 40 especies respectivamente, mientras que Brasil, solamente ocho (Spalding et al. 2010) y México seis (López-Portillo y Ezcurra, 2002).

¡Dato Fankárstico!...

En México, el ecosistema de manglar representa 5% del total mundial y ubica al país en 4º lugar entre los 125 países y territorios que poseen este tipo de humedal, el cual cubre en nuestro país tan sólo el 0.4% de su superficie.

En el país se han registrado la presencia de seis especies de manglar (Fig. 37), cuatro de ellas son las más comunes en México (Fig. 35) que son: el mangle rojo *(Rhizophora mangle)*, el mangle blanco *(Laguncularia racemosa)*, el mangle negro *(Avicennia germinans)* y el mangle botoncillo *(Conocarpus erectus)*, las otras dos especies *(Avicennia bicolor y Rhizophora harrisonii)* tienen una distribución restringida con poblaciones pequeñas en los estados de Chiapas y Oaxaca (López-Portillo y Ezcurra 2002).

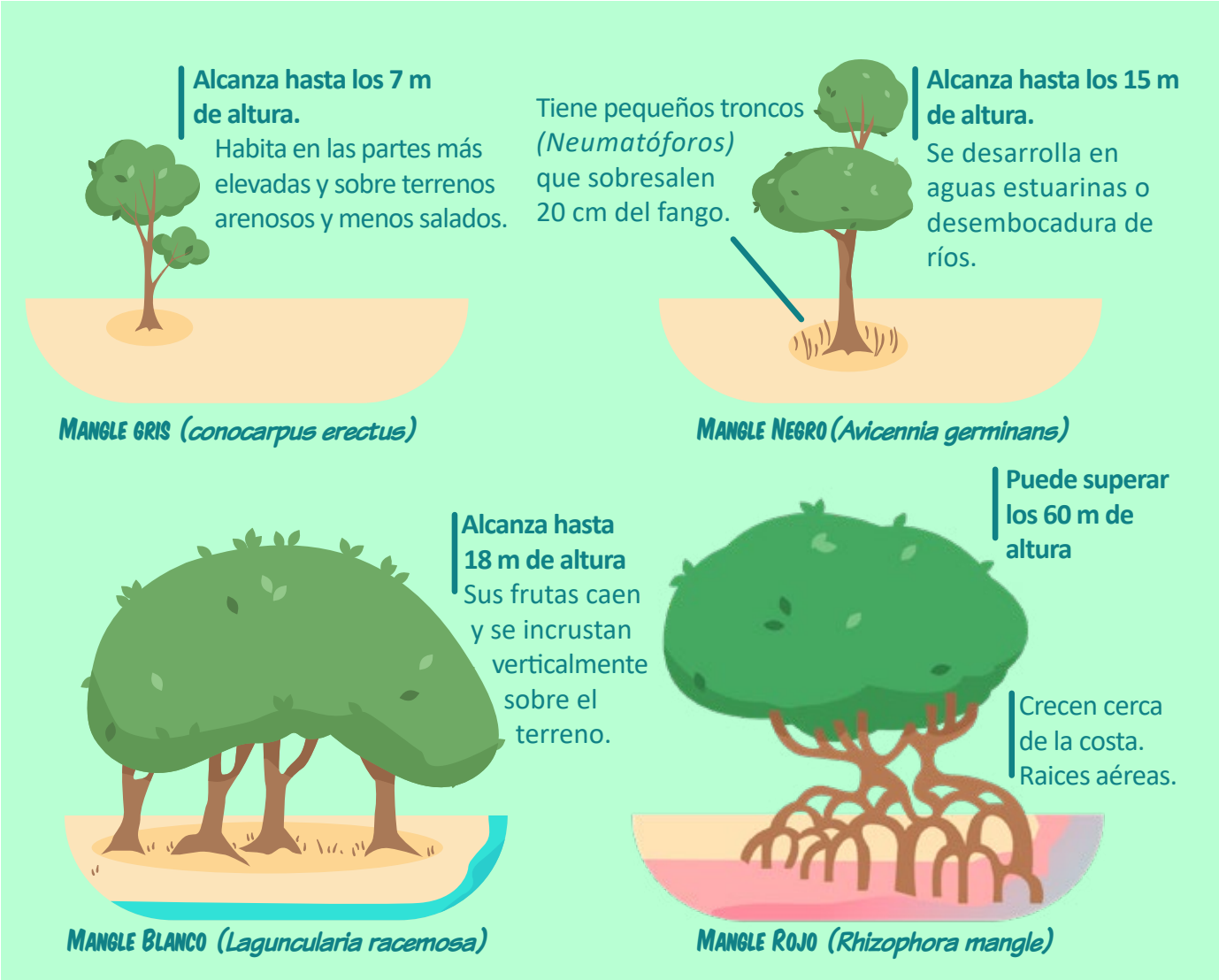


Figura 35. Tipos de manglares más comunes en México

En la península de Yucatán se tienen registradas por la CONABIO, 198,853 hectáreas de manglar en Campeche, 93,171 ha en Yucatán y 129,902 ha en Quintana Roo, haciendo un total de 421,926 ha en toda la PY.

¡Dato Fankárstico!...

En México las especies de mangle rojo, negro, blanco y botoncillo están bajo la categoría de amenazadas (NOM-059-SEMARNAT-2010), lo cual indica que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo.

Figura 37. Distribución de manglar dentro de la República Mexicana.

Actualmente podemos encontrar las cuatro especies de mangle más comunes en México (Fig. 36) que son: (a) mangle rojo (Rhizophora mangle), (b) mangle blanco (Laguncularia racemosa), (c) mangle negro (Avicennia germinans) y (d) mangle gris o botoncillo (Conocarpus erectus), generalmente distribuidos como se muestra en la Fig. 38 (Rivera et. al., 2020).

Figura 36. Especies más comunes de los Mangles en México: A) Mangle Rojo *Rhizophora mangle*, B) Mangle Blanco *Laguncularia racemosa*, C) Mangle Negro *Avicennia germinans*, D) Mangle Botoncillo *Conacarpus erectus*, fotografías cortesía de Reymundo Ku.

6.2 Flora y fauna asociada a los manglares

Algunas especies vegetales con cierto grado de tolerancia a la salinidad pueden ser parte de las comunidades de manglar, como el zapote *(Manilkara zapota)*, el chechén negro *(Metopium brownei)*, palo de agua *(Pachira aquatica)*, cuerno de toro *(Acacia cornigera)* y el tucuy *(Phitecellobium lanceolatum)*, entre otras.

Figura 39. Pitaya *(Selenicerus testuro)*, foto cortesía de @juemiv

Figura 40. Orquídea *(Epidendrum radicans)*, foto cortesía de Guy Duglas.

Entre las trepadoras y epífitas está la pitaya *(Selenicereus testudo)* (Fig. 39), varias especies de bromelias *(Achmaea bracteata, Bromelia pinguin y Tillandsia sp.)* y orquídeas *(Encyclia cochleata, Epidendrum* (Fig. 40)*, Brassavola nodosa y Myrmecophila tibicinis)* (Rodríguez et al., 2013).

Las raíces de los mangles proporcionan un hábitat adecuado para muchas de las especies de fauna como caracoles, ostras *(por ejemplo, Crassostrea rhizophorae)*, percebes, erizos y esponjas. Una gran diversidad de especies comerciales como cangrejos y jaibas *(Callinectes sapidus)*, camarones y langostinos *(Macrobrachium)* viven en el agua de los manglares, al igual que una gran cantidad de peces como bagre *(Arius)*, mojarras *(Eucinostomus y Diapterus)*, pargos *(Lutjanus)*, robalo *(Centropomus)* y sábalo *(Megalops atlanticus)*.

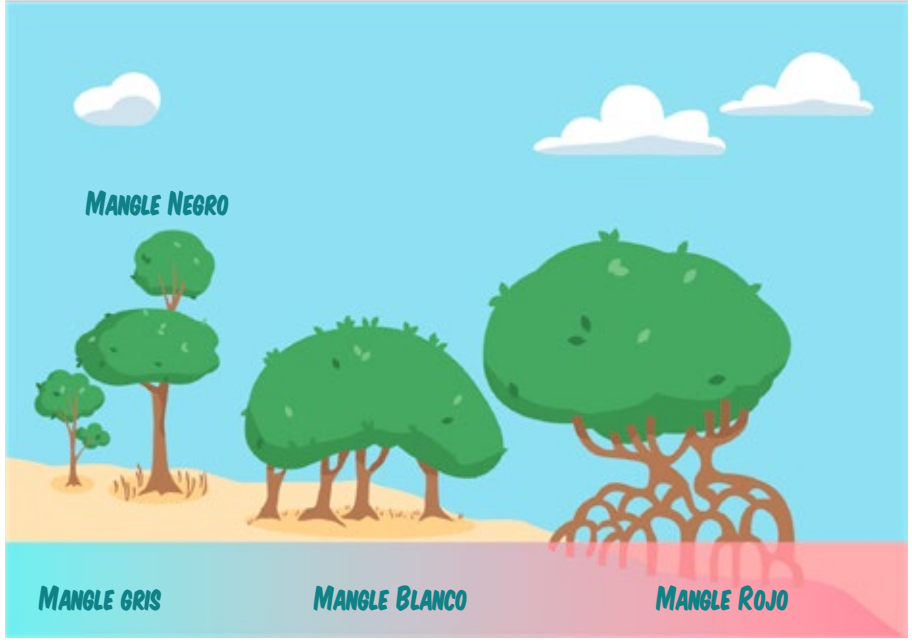
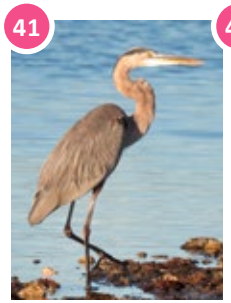


Figura 38. Distribución de las distintas especies de manglar.

La compleja estructura vertical de los manglares es utilizada para descanso y anidación de diversas especies de aves como la garza azul *(Egretta caerulea)*, la garza roja *(Egretta rufescens)*, la garza morada *(Egretta tricolor)*, la garza gris *(Ardea herodias)* (Fig. 41), el bobo café *(Sula leucogaster)*, el cormorán orejudo *(Phalacrocorax auritus)*, la fragata *(Fregata magnifiscens)* (Fig. 42) y la chocolatera *(Ajaia ajaja)* (Rodríguez et al., 2013).



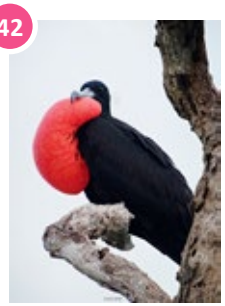


Figura 41. Garza Gris *(Ardea herodias)*, foto cortesía de Juan Flores y Cecilia Álvarez

Figura 42. Fragata *(Fregata magnifiscens)*, foto cortesía de E. Ciau.

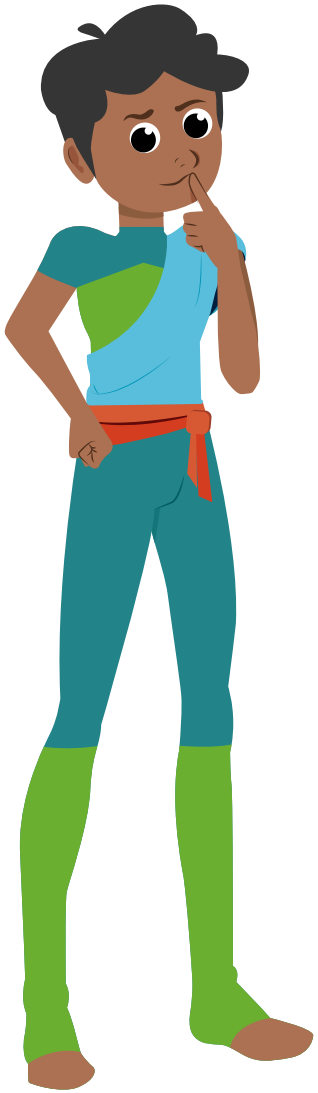
6.3 Servicios Ambientales

El manglar nos brinda un gran número de servicios ambientales (Tabla 5), entre los que se encuentran:

Tabla 5. Servicios ambientales que obtenemos del manglar

	Función	Función Importancia Ambiental
1	**Barreras naturales de protección**	Gracias a sus grandes y abundantes raíces, retienen la erosión causada por vientos y mareas, ayudando así a mantener la línea de costa y a sostener la arena sobre las playas. En aquellos sitios en donde los manglares se han mantenido, el impacto de fenómenos naturales, como ciclones y tsunamis, ha sido menor al de aquellos sitios en donde se destruyeron o no existen estas barreras naturales **(Giri et al. 2011).**
2	**Reducen contaminantes**	Disminuyen el impacto del acarreo de sedimentos, funcionando como filtros biológicos en la retención y procesamiento de algunos contaminantes y fertilizantes utilizados en la agricultura, evitando su filtración hacia nuestros mantos acuíferos y su arrastre hacia el arrecife de coral.
3	**Son zonas de protección, crianza y desove de especies comerciales**	Sobre todo, de distintas variedades de peces, camarones, cangrejos, langostinos y moluscos.
4	**Secuestro de carbono**	Los ecosistemas de manglar son sitios donde se lleva a cabo un intenso procesamiento de materia orgánica (biomasa de árboles vivos y muertos, hojas, raíces y ramas), es de suma importancia en el volumen global de carbono orgánico (carbono azul) **(Herrera et al., 2016).** Los manglares atrapan grandes cantidades de dióxido de carbono, favoreciendo la regulación del calentamiento global.

5



6.4 Amenazas

- Deforestación (tala de grandes extensiones de manglar debido al crecimiento poblacional).
- Transformación o cambio de uso de suelo, es decir deforestación de zonas de manglar para establecer zonas residenciales, hoteles, carreteras, construcción de infraestructura portuaria, etc.
- Contaminación de agua subterránea.
- Descarga de aguas residuales en zonas costeras.
- Actividades turísticas.
- Eventos naturales (huracanes).

6.5 ¿Cómo cuidar a los manglares?

- **EVITAR** que se otorguen cambios de uso de suelo excesivos, para construir muelles, negocios u otra construcción que dañe el ecosistema.
- **FORTALECER** la cultura ambiental en la población acerca de la importancia de los manglares para evitar la tala de los mismos.
- **RECOLECTAR** la basura cerca de ellos y evitar tirarla, recordemos que es un árbol que vive más tiempo mientras sus raíces estén sumergidas en el agua.
- **DENUNCIA** si ves que se está llevando a cabo la tala de zonas de manglar.

¡Dato Fankárstico!...

"Los manglares son las guarderías de todo el sistema costero. Cientos de larvas de crustáceos y peces juveniles viven entre las raíces de los manglares para asegurar su protección hasta que tengan el tamaño para nadar hacia el mar".

Figura 43. Manatí *(Trichechus)*, foto cortesía de @publicdomainimages

6.6 Los manglares y la cultura

En la antigüedad, para los Mayas los manglares fueron una fuente de riqueza importante y aprendieron a cuidarlos, ellos se dieron cuenta del papel protector que tenía tanto para ellos como para sus ciudades, cultivos y los animales de los que se alimentaban, pues conservaba los peces que consumían, así como animales grandes como el manatí (Fig. 43), que consideraban un símbolo de maternidad pero que también cazaban para su alimentación.

6.7 Visión Ecosistémica

Al ser un ecosistema prácticamente costero, los manglares se encuentran contiguos a los ecosistemas de selva inundable y de duna costera del lado continental y los ecosistemas marinos como el arrecife, del lado del océano. Estos ecosistemas proveen diversos servicios ambientales en conjunto como la protección contra huracanes y refugio de especies anfibias o marino-terrestres.

6.8 Actividad 5 La gran muralla

Aprendizajes esperados. Al finalizar la actividad, los participantes:

- Identifican la importancia de los manglares para detener la erosión y proteger la costa.
- Valoran la fragilidad de los manglares ante las amenazas causadas por las comunidades humanas.
- Reconocen la interconexión de los manglares con el resto de los ecosistemas de la PY.

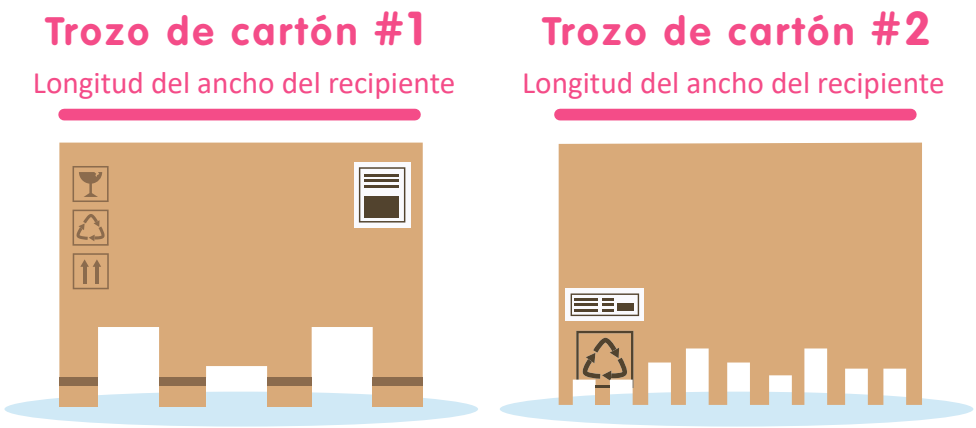
Universo: Más de diez participantes

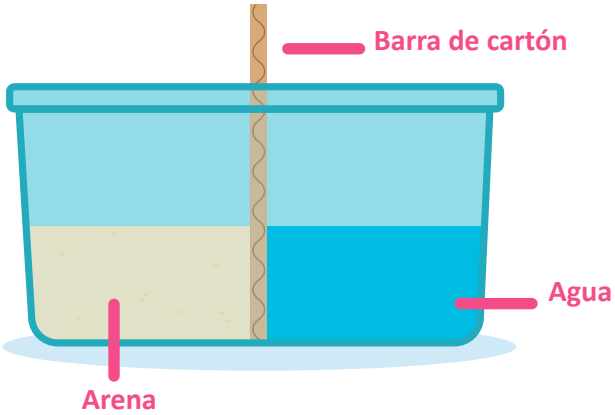
Materiales:

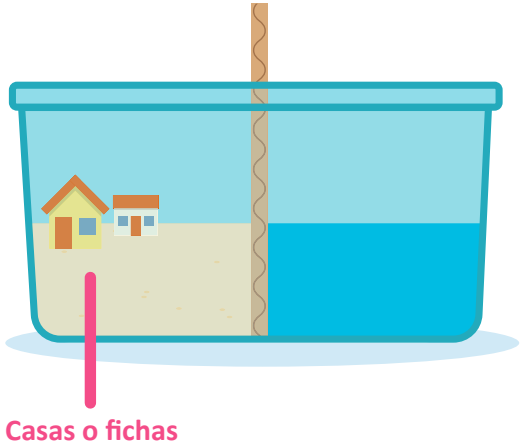
- Una persona que explique y muestre el experimento a la clase, puede ser el facilitador o uno de los participantes.
- Arena fina y agua
- Tijeras y una cartulina plástica o un trozo de cartón grueso (0.2-0.5mm de grosor).
- Recipiente transparente de plástico o vidrio, ancho en donde quepa la cartulina plástica.
- Casas hechas de papel o algunas tapas de botella de plástico simulando ser las casas.

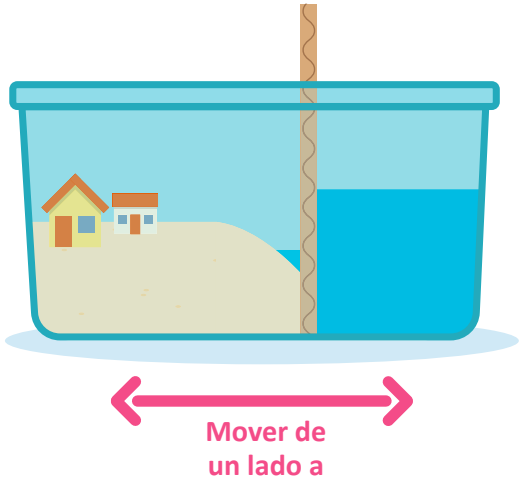
Instrucciones:

01 Recortar dos trozos de cartulina plástica del tamaño de lo ancho del recipiente, uno con recuadros grandes como orificios y el otro con orificios pequeños, este nos servirá para simular el manglar.









02 Llenar el recipiente transparente con arena y agua simulando un área costera.

03 Ubica algunas casas del lado de la arena y utiliza el trozo de cartón como una barrera entre la tierra y el océano, simbolizando los manglares.

04 A continuación, mueve el recipiente de ida y vuelta simulando olas. Alguna arena se moverá hacia el océano. Enseguida cambia el trozo de cartón por el que tiene los orificios más grandes y observen que es lo que pasa.

05 Cuanto más pequeñas son las ranuras en la cartulina plástica (manglares) es menor la cantidad de arena que se moverá hacia el océano (erosión), eventualmente, incluso las casas que se coloquen podrían ser dañadas, deja a los estudiantes que repitan el experimento.

Importancia

Este ejercicio nos muestra cuan importantes son los manglares para proteger la costa de la erosión e inundación. Los manglares son una protección directa para el sustento de las comunidades costeras.

6.9 Actividad 6 ¿Quién vive en los manglares?

Se llevará al grupo de participantes a un sitio con manglares, tomando todas las medidas precautorias para el grupo.

Aprendizajes esperados. Al finalizar la actividad, los participantes:

- Identifican los manglares, sus características y las especies de flora y fauna que lo habitan.
- Comprenden la importancia de cada habitante para el ecosistema del manglar.
- Reconocen la interconexión de los manglares con el acuífero de la PY.

Instrucciones:

01 Los participantes se dividen en grupos de máximo seis personas

02 Se requiere que cada participante sea muy observador para identificar cualquier organismo vivo que encuentre.

03 Hacer un recorrido cerca de los manglares a pie o en lancha para documentar en la bitácora de registro las características de cada especie de manglar y animales que encuentren a su paso. Pueden copiar el formato en una hoja.

¿Quién vive en los manglares?

Nombre del explorador:

Fecha:	**Área de observación:**	
En el agua	En el lodo	En los Árboles

04 Se pueden tomar fotografías

05 Se requiere ropa cómoda (pantalón de mezclilla, tenis, sombrero y repelente de mosquitos).

06 Al finalizar el recorrido, el facilitador guía la reflexión del grupo a través de las siguientes preguntas generadoras:

- ¿Qué es el manglar?.
- ¿Cuál es la función de los manglares y para qué sirven principalmente?.
- ¿Cómo se llaman las especies de mangle que podemos encontrar en la península de Yucatán?.
- Describe dos servicios ecosistémicos que nos proporciona el manglar.
- ¿Cómo participan los manglares en el secuestro de carbono azul?.
- Menciona tres amenazas hacia los manglares.

07 Finalmente, los participantes realizarán por equipos de cuatro a cinco personas un dibujo sobre los manglares, las especies que habitan y los servicios que proveen. Al finalizar colocarán los dibujos en un lugar visible a manera de galería.

08 El facilitador guía la participación del grupo para reconocer lo aprendido durante la actividad.

VII.
Dunas costeras

Figura 44. Dunas Costeras, foto cortesía de E. Ciau.

Las dunas costeras son montículos de granos de arena o granos de origen biológico, que se forman por la acción de depósito de sedimentos por el mar y el arrastre de estos por el viento, son parte de un sistema de intercambio dinámico de arena y son interdependientes con la playa arenosa, ambas conforman al sistema playa-dunas costeras (Martínez et al., 2004; Psuty, 2004). Esta interdependencia provoca que las alteraciones en las playas arenosas afecten a las dunas costeras y viceversa.

Las dunas costeras (Fig. 44) son geo-formas o comúnmente llamadas formas de relieve que están constituidas principalmente de arena, son ecosistemas terrestres situados en la transición entre los ambientes continentales y marinos. La fuente inicial de arena para que se formen estas geo-formas es la depositada en las playas gracias a las corrientes de agua del océano. Cuando la arena de la playa queda expuesta al aire durante tiempo suficiente, se seca y puede ser movida por el viento, formando o acumulando montículos de granos de arena o de granos de origen biológico, especialmente el calcáreo, producto de la desintegración de los arrecifes de coral y de conchas de moluscos, estos montículos van creciendo conforme el transporte de sedimentos se mueva y se acumule. (SEMARNAT, 2013).

La formación de una duna comienza, cuando la velocidad del viento es tal que, puede levantar los granos de arena (aproximadamente 4.5 m/s). Casi toda la arena se transporta a una distancia muy cercana a la superficie del suelo, los granos de arena al caer impactan y lanzan al aire más granos, comenzando así, una cadena de transporte. Conforme mayor es la velocidad del viento, el movimiento de arena aumenta, esto se nota al parase unos minutos en playa en la época de frentes o nortes y se empieza formar una capa de arena en la cara.

La identificación de las dunas costeras se basa en tres tipos como se muestra en la Figura 45: 1) primarias en las cuales el movimiento de la arena es intenso y la influencia del mar es fuerte, la característica de la vegetación en las dunas primarias son plantas escasas pero tolerantes a la salinidad y al movimiento de la arena; 2) Las dunas secundarias se encuentran tierra adentro, por lo que la influencia marina y el movimiento de la arena es menor, la cobertura de la vegetación es mucho mayor y 3) las dunas terciarias en las cuáles el sustrato tiene una mayor estabilización, esto quiere decir que el movimiento del área es prácticamente nulo, la vegetación es formada por arbustos y árboles de mediano tamaño (San Martín et al., 1992).

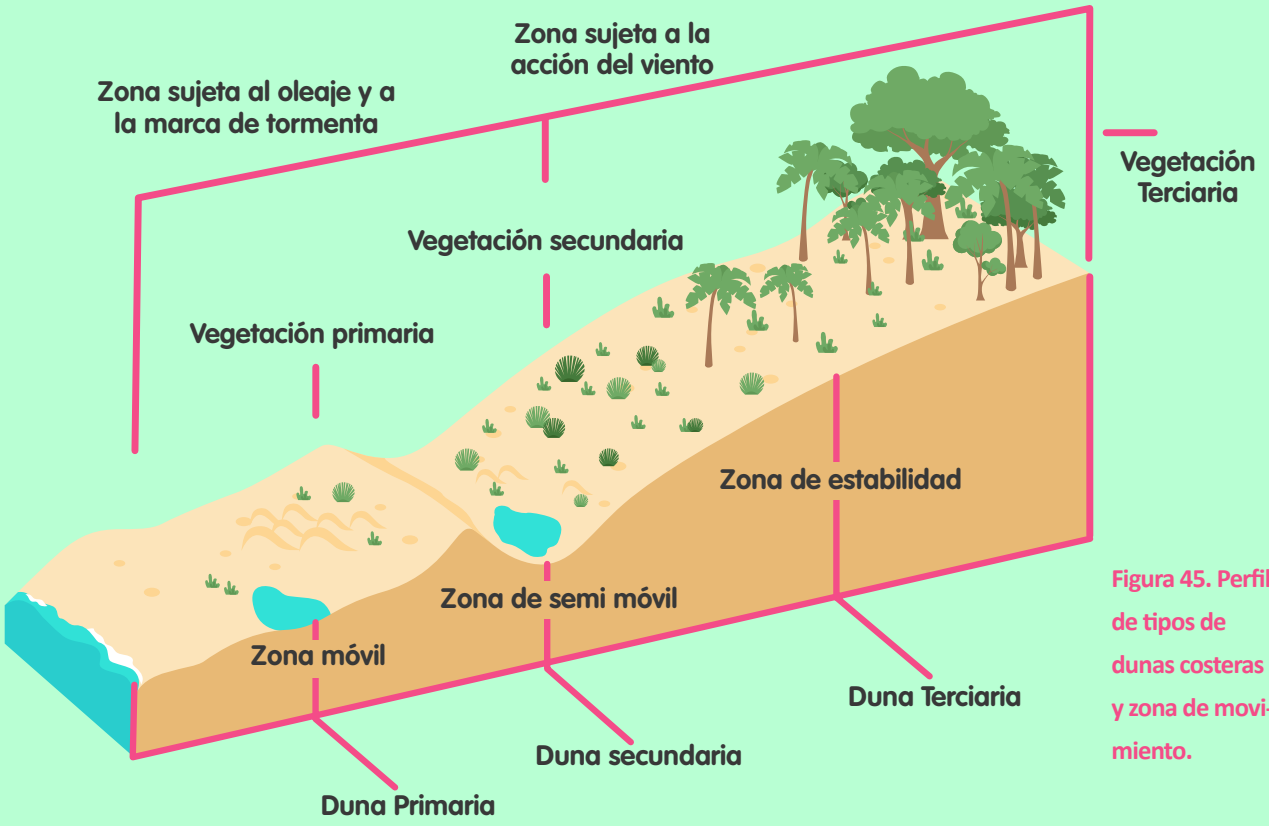


Figura 45. Perfil de tipos de dunas costeras y zona de movimiento.

Las dunas costeras tienen diferentes grados de movilidad, la cual está directamente relacionada con la cantidad de cubierta vegetal con la que cuentan (Moreno-Casasola, 1986). Cuando carecen de vegetación son sumamente móviles, ganan y pierden arena constantemente en respuesta a la acción del viento. Cuando las dunas están parcialmente cubiertas por vegetación son llamadas semi-móviles y, como su nombre lo implica, la arena no es completamente móvil. Finalmente, las dunas estabilizadas están totalmente cubiertas por plantas y su arena prácticamente no tiene ningún movimiento.

7.1 Distribución

Las dunas costeras en México abarcan una superficie total de 808 711 ha, superficie similar a la cubierta por manglares (CONABIO, 2008). Los estados de Baja California Sur, Veracruz, Sinaloa y Tabasco son los que cuentan con mayor extensión de dunas en su territorio y las dunas costeras como se muestra en la Tabla 6, esta superficie es similar a la cubierta por los manglares de los estados del noroeste se encuentran mejor conservadas que las del este y sureste del país. También existen diferencias regionales en la superficie de dunas urbanizadas, siendo Quintana Roo uno de los estados con mayor urbanización y degradación de sus costas y por ende de sus dunas.

A nivel nacional, casi el 50% de las dunas costeras son dunas frontales (de baja altura, y se encuentran paralelas a la línea de costa) y el 45% son dunas transgresivas (son aquella que avanzan tierra adentro a lo largo de la costa, poseen vegetación muy escasa). Las dunas parabólicas (dunas en formas de "∩", se diferencian por tener dos brazos y una cima en la parte más alta) son mucho más escasas, y representan menos del 10% de todas las dunas mexicanas como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Superficie total de dunas en México. Tomado de: Jimenez et al., 2014.

Estado	Dunas frontales	Planicie de dunas frontales	Parabólicas	Transgresivas	Barjanes	Cuerpo de agua	Total por estado	% respecto al total nacional
Baja California sur	5,013	3,123	227	207,844	5,418		221,625	27.4
Veracruz	343	35,384	38,774	31,619		473	106,592	13.2
Sinaloa	1,263	57,876		31,592			90,731	11.2
Tabasco	145	72,225		2,115		168	74,653	9.2
Nayarit	752	46,937					47,690	5.9
Oaxaca	1,213	37,796	5,330	776			45,116	5.6
Campeche	259	43,275					43,534	5.4
Sonora	1,190	4,280		37,028	53		42,551	5.3
Baja California	1,707		1,1896	24,410			28,014	3.5
Tamaulipas	1,658	3,194	1,809	20,344			27,005	3.3
Chiapas	1,740	21,616					23,357	2.9
Guerrero	1,225	19,245					20,470	2.5
Quintana Roo	2,520	9,757					12,78	1.5
Yucatán	218	11,266		0			11,484	1.4
Colima	68	77,344					7,412	0.9
Michoacán	565	2,600					3,166	0.4
Jalisco	1,351	1,204	478				3,034	0.4
Total por tipo	21,233	377,123	48,514	355,728	5,470	641	808,711	
Superficie total de dunas en México							808,711	

6

En Quintana Roo las dunas costeras han ido desapareciendo por el aumento de la construcción de hoteles y zonas turísticas cercanas a la playa. De hecho, 58.8% del Producto Interno Bruto (PIB) estatal de Quintana Roo corresponde a actividades estrechamente relacionadas con el turismo de sol y playa, como son: servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas (22%), comercio (17%), servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles (12%), y construcción (8%) **(Secretaría de Economía, 2014).**

¿Qué pasa si se pierden las dunas costeras?

Figura 46. Dunas Costera Erosionada, foto cortesía de E. Ciau.

Uno de los sitios donde podemos localizarlas dentro de la Península de Yucatán, es al norte de la isla grande en Lázaro Cardenas, Quintana Roo, ubicada al centro del área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, esta isla contiene ecosistemas costeros que cubren una longitud de aproximadamente 22 kilómetros longitudinales y tiene una superficie de 414.7606 hectáreas. Está conformada por la playa que abarca tanto la zona federal marítimo terrestre como la duna costera adyacente; comprende desde un punto ubicado a 2.5 km al este de Punta Mosquito hasta el área conocida como Santa Paula, su anchura varía entre los 70 y 320 metros y presenta una pendiente poco pronunciada. Las playas son de arena fina de color casi blanco, y constituye un hábitat estratégico para la anidación de tortugas marinas en toda la extensión de Isla Grande, siendo más abundantes en la porción central de la isla con un promedio anual de 500 anidaciones. **(DOF,2015).**

7.1 Distribución

Los servicios ambientales que obtenemos de las dunas costeras son diversos **(Tabla 7)**. Principalmente, actúan como una barrera de protección que contrarresta el efecto del viento, del oleaje y de las inundaciones provocadas por huracanes y tsunamis **(Ranwell y Boar, 1995; Alcamo y Bennett, 2003; Seingier et al., 2009).** También funcionan como reserva de sedimentos almacenan la

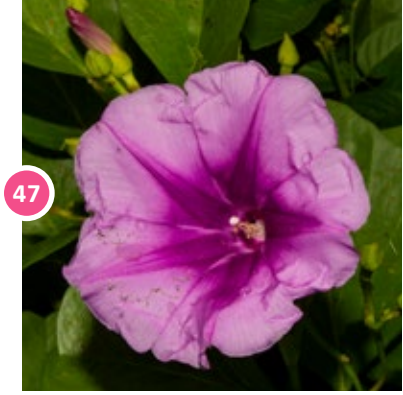
arena y de ello depende de gran medida la flexibilidad y resiliencia del ecosistema, contribuyen a prevenir la erosión al formar montículos que disipan la fuerza del oleaje evitando que el mar alcance zonas habitables. Son zonas de recarga y filtración del agua a los acuíferos, actúan como atenuantes contra la intrusión de agua salada a los acuíferos y a los humedales (Martínez et al., 2004; Yetter, 2004).

Son zonas de gran valor paisajístico, de esparcimiento para la sociedad y donde se desarrollan actividades económicas relacionadas al turismo, la agricultura y la ganadería (Moreno-Casasola, 2006). Las dunas costeras son zonas de importancia para el desove de tortugas marinas.

Tabla 7. Funciones e importancia de los servicios ambientales que obtenemos del ecosistema de Dunas Costeras.

Función	Importancia Ambiental
Abastecimmiento	
Alimento	Recolección de moluscos, crustáceos y algas para consumo.
Materiales de origen geótico	Lugar de sedimentación y acumulación de material detrítico geológico y biológico.
Medicinas naturales y principios activos	Vegetación con propiedades curativas específicas (Fig. 47).
Materias primas de origen biológico	Obtención de materias primas vegetales, madera.
Regulación	
Regulación morfosedimentaria	Retención de suelos al tratarse de áreas receptoras de los sedimentos marinos. Favorece el mantenimiento y diversificación de los suelos. Estabilidad morfosedimentaria.
Regulación de perturbaciones naturales	Amortiguación de eventos hidrometeorológicos extremos.
Regulación hídrica	Diversifica la presencia de flujos subsuperficiales y subterráneos.
Culturales	
Actividades recreativas y ecoturismo.	Evolución y funcionamiento de las Dunas.
Paisaje y disfrute estético	Actividades recreativas y ecoturismo ligadas a las dunas.
Educación ambiental	Refleja de forma muy clara la evolución de los paisajes. Constituye un ámbito ideal para explicar y transmitir conocimientos sobre estas unidades.
Identificación cultural y sentido de pertenencia	Ámbitos que se identifican y reconocen por sus playas. Valores asociados al lugar (Tradiciones).

7



47

Figura 47. Vegetación *Ipomoea pes-caprae* Riñonera. Enfermedad cálculos renales. Fuente Herbario CICY.
Figura 48. Vegetación *Cakile Lanceolata* ,foto cortesía de Bob Peterson.
Figura 49. Iguana y Tepezcuintle, foto cortesía de Ulrike Mai.
Figura 50. Tortuga orejas rojas, foto cortesía de Mia Moreau.

48

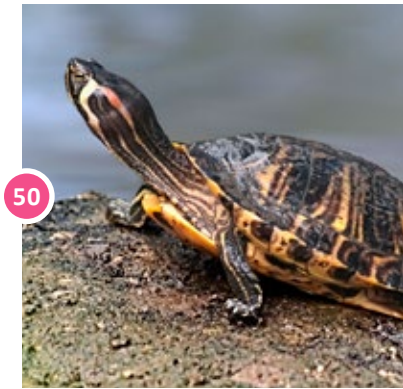
7.3 Flora y Fauna de Dunas Costeras

La flora de las dunas costeras desempeña un papel importante para la acumulación y consolidación de la arena, sirven como estabilizadores para los montículos de arena, además de proporcionar materia orgánica y sombra para el establecimiento de otras especies **(M Luna et al., 2011; Rodrigues et al., 2011).**

La vegetación que se forma presenta adaptaciones que confieren resistencia a la movilidad del sustrato, temperaturas altas, alta salinidad, limitación de nutrientes y resistencia a las sequias e inundaciones **(Martínez et al., 2004).**

Con respecto a la fauna la diversidad de los organismos depende al tipo de duna en la que habita (primaria, secundaria, terciaria), se pueden encontrar invertebrados como cangrejos *Gecarcinus lateralis y Oxypode quadrata* y moluscos *Donax variabilis roemeri y D. texasiana,* vertebrados como lagartijas *Aspidoscelis sp,* iguanas Iguana iguana y tortugas (agua dulce *Trachemys scripta elegans* y marinas *Caretta caretta*) aves y mamíferos como son gaviotas *Larus fuscus,* zopilotes *Cathartes aura*, tlacuaches Didelphis virginiana y tepezcuincle *Cuniculus paca* **(Moreno-Casasola, 2010).**

49



50

Figura 51. Importancia ecológica de las dunas

7.4 Amenazas

Debido al efecto de los fenómenos naturales y de las amenazas antropogénicas, alrededor del 70-80% de las dunas costeras a nivel mundial están sujetas a procesos erosivos (Fig. 52). El desarrollo de obras y actividades sobre el sistema playa-dunas costeras puede alterar su estructura y función.

La magnitud de las alteraciones dependerá de la zona que se afecte, del tipo de obra o actividad, así como de las condiciones ambientales del sitio en el que se desarrollen. La pérdida o deterioro de las dunas costeras conlleva a la pérdida de los servicios ambientales que se obtienen de estos sistemas para la sociedad y que son de interés económico (Mendoza-González et al., 2012).

Figura 52. Playa Erosionada, foto cortesía de E. Ciau.

7.5 ¿Cómo cuidar a las dunas costeras?

- Reduciendo la producción de basura, cuando visites las dunas costeras, trata de llevar la menor cantidad de plásticos posibles.
- No lleves plantas exóticas a las dunas costeras, estas plantas pueden invadir el ecosistema reduciendo la flora local.
- Infórmate sobre los planes de desarrollo turístico de tu municipio.
- Evita la erosión de las dunas costeras, no transites los montículos en vehículos (motos, cuatrimotos, jeeps).
- No te lleves arena de recuerdo ya que promueves la erosión de este ecosistema.

7.6 Las dunas costeras y la cultura

De acuerdo con la cosmovisión de maya, la tierra no está sujeta a posesión, es “el monte” el que ofrece sus productos (plantas y animales) para el sustento de todos los seres vivos, incluyendo a los humanos. El mundo y los seres que los habitan integran un todo estructuralmente coherente, en que se integran la ciencia, el arte y la religión.

En la Península de Yucatán habita el Colibrí cola hendida (Doricha eliza). Esta pequeña ave se encuentra presente en la vegetación de duna costera, matorral de duna costera y los bordes de manglar de nuestra costa. El colibrí cola hendida es parte de un mito maya.

Figura 53. Leyenda maya del colibrí.

Mito Fankárstico:

"Cuando los dioses crearon todas las cosas, notaron que aún faltaba un encargado de llevar sus deseos y pensamientos al mundo; tomaron una flecha muy pequeña, soplaron sobre ella, y entonces voló; luego cobró vida y se convirtió en x ts'unu'um (colibrí)".

Si te encuentras con esta ave mistica, alguién te envía buenos deseos y amor.

Concentrate en pensar en cosas positivas, tus buenos deseos llegarán a la persona que quieres.

7.7 Visión Ecosistémica

Los ecosistemas de duna costera poseen características indispensables por ser una zona de transición entre la parte marina y terrestre, por un lado, tierra adentro llegan a estar en contacto con las zonas de manglar y por el otro, en la zona marina con los pastos marinos, recuerda que todo es parte de la conectividad entre los ecosistemas de la Península de Yucatán.

7.8 Actividad 7 Mapeando las dunas costeras

Aprendizajes esperados. Al finalizar la actividad, los participantes:

- Identifican a las dunas costeras, sus características y ubicación en México.
- Reconocen la importancia de conservar las dunas costeras para el equilibrio del resto de los ecosistemas en la línea de costa.
- Identifican las amenazas que enfrentan las dunas costeras y las soluciones necesarias para su conservación.

Universo: 20 a 30 estudiantes desde nivel secundaria.

Materiales:

- Mapa impreso de la República Mexicana.
- Colores.

Instrucciones: Los participantes se dividirán en grupos de 5 personas. Realizarán una investigación bibliográfica sobre la distribución de las dunas costeras en México. Para ello, deberán escoger un color para las diferentes dunas costeras que hay en México. Una vez seleccionados los colores, pintarán los Estados que tengan dunas costeras. Posteriormente, se les pedirá a los participantes que hagan una lista de las principales amenazas que enfrentan las dunas en México. Ahora, escogerán otros colores (distintos a los anteriores) para identificar a cada una de las amenazas que enlistaron. Una vez asignado un color a cada amenaza, pintarán una franja adicional al Estado que pintaron previamente según las amenazas que afecten a las dunas en cada parte del país. Al finalizar la actividad, el facilitador puede recuperar el aprendizaje con las siguientes preguntas generadoras:

¿Qué similitudes y diferencias observan en las distintas ubicaciones de las dunas costeras?
¿Cuál es la amenaza que está presente en la mayoría de los sitios que presentan dunas costeras en México?
¿Qué podemos hacer para disminuir el efecto de esta amenaza en Quintana Roo?

7.9 Actividad 8. ¿Por qué son importantes las dunas costeras?

Aprendizajes esperados. Al finalizar la actividad, los participantes:

- Comprenden la importancia de las dunas costeras en la protección de los impactos hidrometeorológicos extremos causados por huracanes.
- Identifican los servicios ambientales de las dunas costeras.
- Relacionan la importancia de los servicios ambientales con el bienestar del acuífero en la PY.

Materiales:

- Mesa
- Arena, aproximadamente 1 kg. (Si la tomas de la playa, la deberás regresar al finalizar la actividad).
- Abanico.
- 8 Listones delgados (1 cm).
- 8 Palitos de madera.
- Metodología.

Instrucciones:

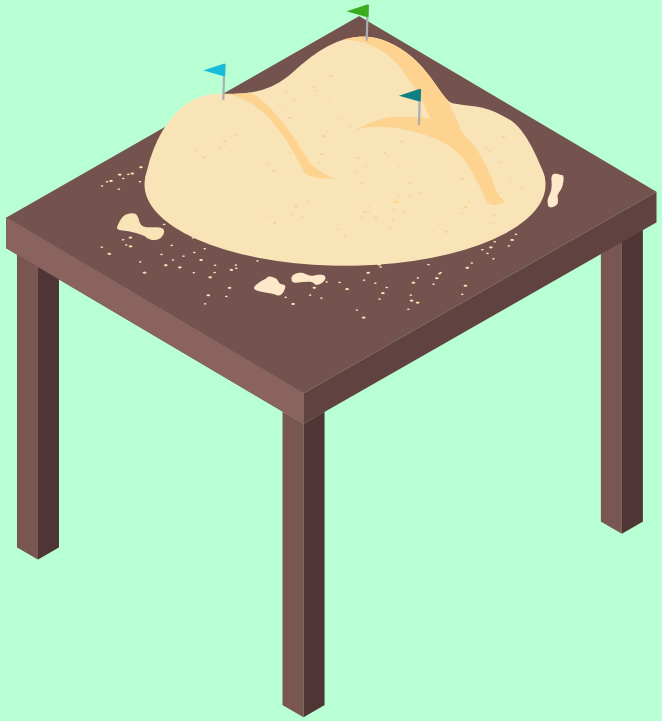
En una mesa, los estudiantes colocan la arena haciendo formaciones similares a las dunas costeras, aumentado gradualmente su formación (móviles, semi-móviles y fijas). Posteriormente amarrarán un liston al extremo de cada palito de madera y se insertan sobre la arena, en diferentes sitios. Un participante utilizará el abanico para generar corrientes de aire y observar que los listones se mueven de acuerdo a la fuerza del viento y que las dunas también se mueven. Una vez realizada esa prueba, aplanará las dunas fijas y semi-moviles, repetirá la acción y se verá el cambio en el movimiento de los listones.

7.10 Actividad 9 - ¡Hagamos historia!

Aprendizajes esperados. Al finalizar la actividad, los participantes:

Se informan sobre las condiciones de las dunas costeras en tiempos pasados.

Analizan la dinámica del movimiento de las dunas costeras y los factores que influyen.



Instrucciones

01 Como habrás leído en este capítulo las dunas y los paisajes costeros son estructuras dinámicas. Éstas son modificadas constantemente por el efecto del viento, las tormentas, las olas y otros agentes como las actividades humanas. Así, las dunas costeras que hoy ves cerca de tu casa es probable que con el tiempo atrás haya sido muy diferentes hayan cambiado y no sean de la misma forma que hace 10, 20 o 30 años.

02 Para saber más sobre cómo era la costa que hoy ves cercana a tu casa, te proponemos investigar al respecto. Para ello puedes buscar fotos antiguas de las playas, libros que describan la costa en el pasado o hablar con personas que desde hace muchos años viven en la zona. Por ejemplo, los abuelos seguramente puedan contar cosas muy interesantes sobre cómo era la costa cuando ellos eran chicos. También pueden identificar a antiguos pobladores de la localidad, que seguramente sepan describir de manera detallada cómo era la costa cuando tenían su edad.

03 Ahora, es momento de hacer historia. Con toda la información recabada se les pedirá a los participantes que armen una línea de tiempo o un collage (dependiendo su preferencia) sobre cómo eran las dunas antes y cómo han ido cambiando a través del tiempo, qué ha pasado (huracanes, construcciones, etc) y como están actualmente.

VIII.

Pastos marinos

Los pastos marinos o praderas de pastos marinos son ecosistemas donde dominan las únicas plantas fanerógamas que producen flores, polen y semillas adaptadas a ambientes marinos, se encuentran presentes en zonas costeras y estuarinas de todos los continentes del mundo exceptuando a la Antártida. La mayoría son especies completamente marinas, sin embargo, algunas de ellas sólo son capaces de reproducirse cuando emergen durante la marea baja y algunas otras necesitan el aporte de agua duce para llevar a cabo su reproducción (Short et al., 2001).

Las plantas de los pastos marinos están compuestas por raíces, tallos y hojas. Las raíces y los tallos horizontales, se llaman rizomas y se encuentran enterrados en el sustrato proporcionándole anclaje a la planta, los rizomas se forman en segmentos llamados nodos a partir de los cuales se elevan las hojas o tallos verticales. Las raíces de los pastos marinos pueden ser simples o tener ramificaciones, incluso pueden tener películas finas que le ayudan a la planta a absorber nutrientes.

Los tallos verticales (parte rígida) se llaman brotes o shoots y sobresalen del sedimento junto con las hojas, que dependiendo de la especie de pasto marino pueden tener un tallo llamado peciolo.

Las hojas de los pastos marinos, además tienen venas y canales de aire que les permite transportar agua, gases y nutrientes como se muestra en la (Fig.54) (McKenzie et al., 2003).

Su reproducción es subacuática, esto es gracias a que producen granos de polen filamentosos que son transportados en la corriente del agua (reproducción sexual). Otra forma de propagación es utilizando sus órganos de almacenamiento subterráneo llamados rizomas, facilitando la reproducción vegetativa, siendo este tipo de reproducción el principal mecanismo que utilizan los pastos marinos para ocupar un hábitat y de esa forma extenderse y prevalecer en él (Marbá et al., 2004).

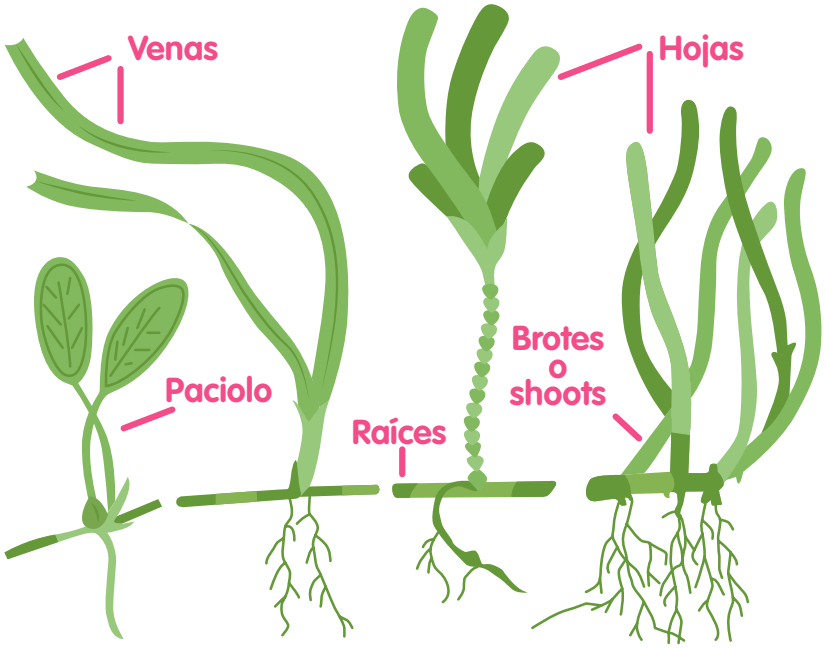


Figura 54. Morfología general de algunas especies de pastos marinos. Tomada y modificada de: McKenzie et al., 2008.

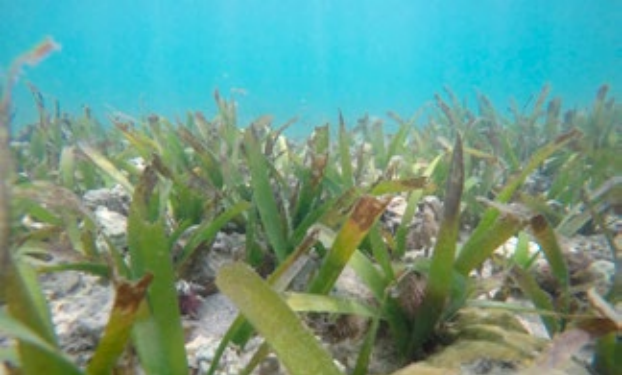


Figura 55. Pastos marinos *(Thalassia testadinum),* foto cortesía de Mendoza-Marínez J. E.

¡Dato Fankárstico!...

Los pastos marinos en realidad no son como el césped que conoces, pero por su apariencia y al ser el alimento de animales marinos, se llamaron así

8.1 Distribución

Las praderas de pastos marinos se distribuyen a lo largo de zonas de costas y estuarios tanto en ambientes tropicales como templados. A nivel mundial se tienen registradas alrededor de 72 especies de pastos marinos, distribuidas en 12 Géneros y 5 Familias (Short et al., 2001). Cada especie de pasto marino se distribuye en función de sus requerimientos a las condiciones ambientales, entre los que se incluyen parámetros físicos que regulan su actividad fisiológica (temperatura, salinidad, oleaje, corrientes, profundidad y tipo de sustrato); fenómenos naturales que limitan la activad fotosintética de las plantas (luz, nutrientes, epífitos y enfermedades) e impactos antropogénicos que inhiben el acceso a recursos disponibles (carga de nutrientes y sedimentos) (McKenzie et al., 2003).

Los pastos se distribuyen en extensos y densos manchones bajo el agua que pueden estar formados por una sola especie, o por varias especies de pastos. Short y Moore (2007) definieron la distribución de los pastos marinos en el continente americano en 3 biorregiones, lo anterior, en función de las comunidades de pastos y aspectos geográficos de sus hábitats.

01 Atlántico norte templado, que se distribuye desde la costa este de Canadá y Estados Unidos.

02 Pacífico norte templado, que se extiende desde el norte de la península Seward, en Alaska, hacia el sur del golfo de California.

03 América tropical, que se extiende desde la costa norte de Florida sobre el golfo de México hasta la costa mexicana en el mar Caribe, en esta biorregión se incluyen también sitios de pasto marino sobre las costas del Pacífico mexicano hacia el norte, hasta alcanzar Baja California Sur, en donde pueden observarse tres especies de pastos marinos tropicales de origen caribeño.

En México se tienen registradas 9 especies de pastos marinos, agrupadas en 6 géneros, además de la posible presencia de al menos dos especies pertenecientes al género Ruppia, cuya identidad taxonómica aún se encuentra en estudio (Tabla 8) (Romeu, 1996). En el Pacífico mexicano hay cuatro de las nueve especies de pastos reportados para México, principalmente en las costas de Baja California Sur, Sonora y Sinaloa. Mientras que, en el golfo de México y mar Caribe, hay praderas de pastos marinos desde Tamaulipas hasta el sistema arrecifal de Yucatán, donde hay seis especies registradas. Se estima que en México la cobertura de las praderas de pastos marinos es de 919,300 ha, sin embargo, esta cifra podría ser mucho mayor (CCA, 2016; CONABIO, 2019).

Tabla 8. Especies y géneros de pastos marinos presentes en la parte marina del Golfo de México y Caribe Mexicano.

Género	Especie	Nombre común
Zostera	*marina*	Pasto marino
Phyllospadix	*scouleri* *torreyi*	Pasto marino
Thalassia	*testudinum*[1]	Hierba de tortuga
Halodule	*wrightii*[1] *Beaudettei*	Pasto marino
Syringodium	*filiforme*[1]	Hierba de manatí
Halophila	*decipiens*[1] *engelmanni*[1]	Pasto marino Pasto estrella
Ruppia	*maritima**[1] *mexicana**[1]	Cabello de marisma

8

Mapa de la distribución de pastos

En la Península de Yucatán, se encuentran las seis especies reportadas para el mar Caribe: *Thalassia testudinum, Halodule wrightii, Syringodium filiforme, Halophila decipiens, H. engelmanni y Ruppia maritima (R. mexicana)*. Sin embargo, la distribución de cada una de estas especies es variable dentro de la península. En Quintana Roo y Campeche, la especie más abundante y con mayor distribución es *T. testudinum*, otras especies como *S. filiforme* se distribuyen principalmente en las costas del Caribe mexicano y rara vez ha sido reportado en lagunas costeras. La presencia de *R. maritima (R. mexicana)* se ha registrado principalmente en lagunas costeras con aportes de agua dulce como las lagunas de Términos, Nichupté y Celestún. Mientras que *H. decipiens* está presente en pequeños parches, en fondos

arenosos de 4 a 6 m de profundidad en Progreso y las Coloradas en Yucatán. Finalmente, la especie *H. engelmannii* parece ser estacional en la península de Yucatán y ha sido registrada en pequeños parches en la laguna Yalahau dentro del Área de Protección de Flora y Fauna de Yum Balam (Fig. 56) (Espinoza-Avalos, 1996).

Dentro del APFF Yum Balam, se estima que el área dominada por pastos marinos es de 24,461.8 ha, de las cuales el 65% se encuentran en la porción interna de la laguna Yalahau, donde las especies registradas son T. testudinum (Tt), S. filiforme (Sf) y H. wrightii (Hw) cuya biomasa representa un almacén de carbono de 3.2 MgC ha-1 (Herrera-Silveira et al., 2018).

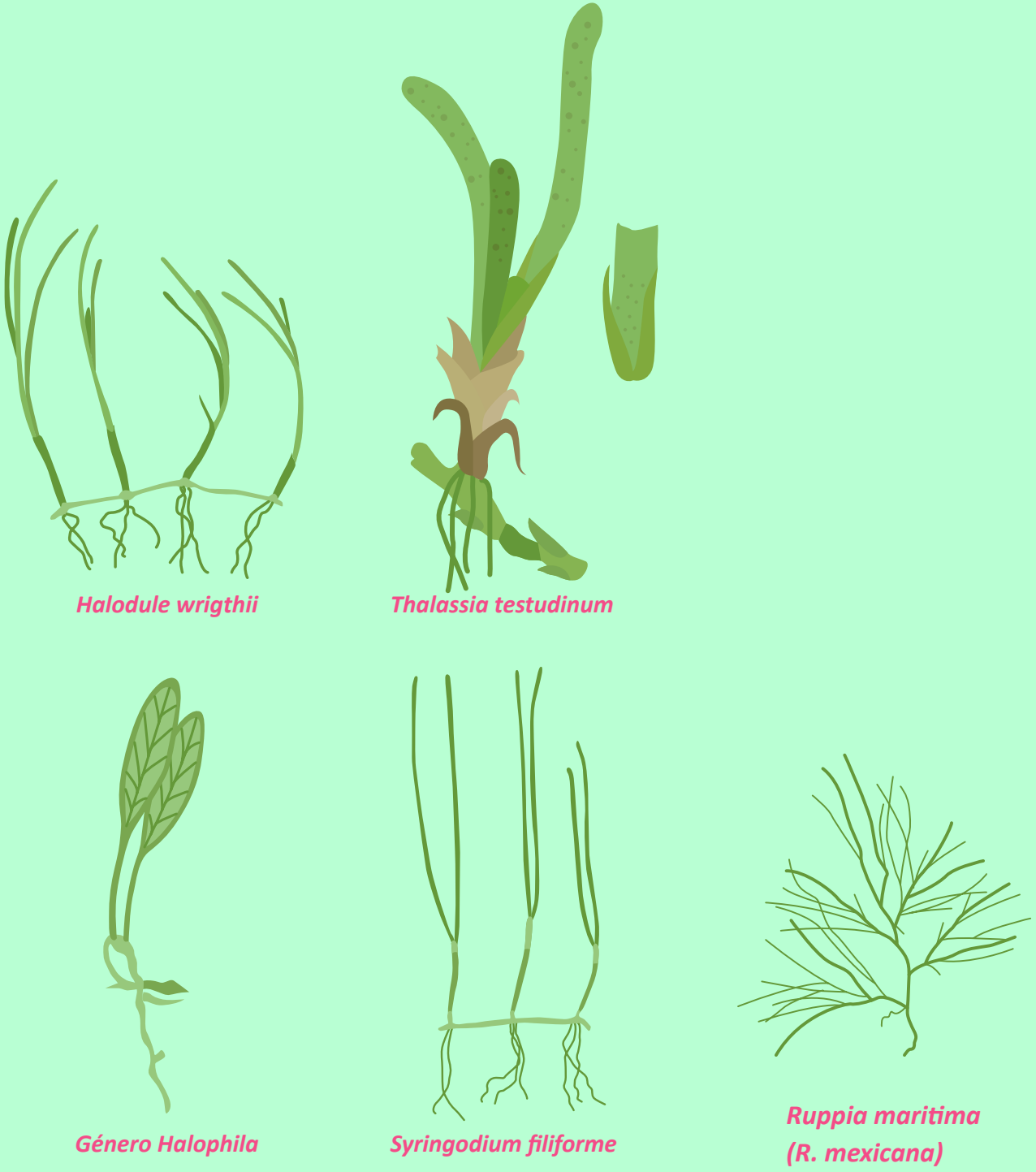


Figura 56. Especies de pasto marino presentes en la Península de Yucatán. Tomados y modificados de: Kuo y Hartog, 2001

8.2 Servicios ambientales

De las praderas de pastos marinos obtenemos servicios ambientales que son considerados unos de los más importantes en el planeta ya que constituyen la base de la red trófica en sistemas estuarinos sustentado a un gran número de especies de importancia recreativa, comercial y ecológica. Por lo tanto, son un ecosistema crítico para muchas especies de animales, ya que les sirve de crianza, refugio y alimento para especies protegidas bajo la NOM 059 SEMARNAT 2010 como son la tortuga marina de carey *(Eretmochelys imbricata)*, tortuga blanca *(Chelonia mydas)*, tortuga marina caguama *(Caretta caretta)* y el manatí del Caribe *(Trichechus manatus)* el cuál se ha adaptado a solo alimentarse de los pastos marinos. En la Tabla 9 se resumen las funciones y la importancia de los servicios ambientales que obtenemos los pastos marinos como ecosistema, es por eso que son tan importantes para la humanidad. (Spalding et al., 2003; CCA, 2016).

Tabla 9. Funciones e importancia de los servicios ambientales que el ecosistema de pastos marinos (Fuente: Spalding et al., 2013).

	Función	Importancia Ambiental
1	**Producción Primaria**	Los pastos marinos son un ecosistema altamente productivo y constituyen la base de la cadena alimenticia, por lo tanto, tienen un rol crítico como alimento para organismos herbívoros como: tortugas, peces, manatís, etc. Además, esta producción también es exportada a ecosistemas adyacentes como los manglares y arrecifes.
2	**Estructura del dosel**	La estructura del dosel (hojas) de los pastos marinos provee un ambiente tridimensional, usado como hábitat, refugio y guardería por numerosas especies, incluyendo especies de importancia comercial y recreacional como: pepinos de mar, camarones, caballito de mar, langosta, peces (mojarras, pargos), caracoles, jaibas, etc.
3	**Sustrato para epífitos y epi-fauna**	Las hojas de los pastos marinos también proveen espacio para organismos epífitos y epifauna, aportando una alta producción secundaria.
4	**Filtración de nutrientes y contaminantes**	Los pastos marinos ayudan a filtrar y a remover contaminantes y nutrientes de los sedimentos y la columna de agua, ayudando a mejorar la calidad del agua de su entorno y de ecosistemas adyacentes como los arrecifes de coral.
5	**Filtración y retención de sedimentos**	El dosel de pastos marinos estabiliza y evita la resuspensión de sedimentos, mientras que el sistema de raíces y rizomas ayudan a retener el sedimento, mejorando la calidad del agua.

9

6	**Producción de Oxígeno**	El oxígeno liberado por la fotosíntesis realizada por los pastos marinos ayuda a mejorar la calidad del agua y da soporte a las comunidades de fauna asociada a los pastos, así como a sus hábitats adyacentes.
7	**Producción y exportación de materia orgánica**	Muchos ecosistemas de pastos marinos sirven como exportadores de materia orgánica, soportando la productividad de estuarios y de zonas alejadas de la costa.
8	**Regeneración y reciclaje de nutrientes**	Los pastos marinos retienen y reciclan nutrientes de manera muy eficiente, de esta manera ayudan a la productividad general del ecosistema. Además los pastos pueden funcionar como almacenes de Carbono.
9	**Acumulación de materia orgánica**	Los pastos marinos acumulan materia orgánica en sedimentos, raíces, rizomas y hojas incrementando el nivel del bentos y otras fuentes de alimento.
10	**Reducción de energía del oleaje y corrientes**	Los pastos marinos reducen los efectos de la energía de las olas y las corrientes mediante la retención de sedimentos. Con este mecanismo también reducen el proceso de erosión, disminuyen la turbidez e incrementan la sedimentación.
11	**Ecosistema autosostenible**	El ecosistema de los pastos marinos da sustento a una gran biodiversidad y proporciona interacciones tróficas con otros ecosistemas importantes como los arrecifes de coral, manglares y marismas.
12	**Secuestro de carbono**	Los pastos marinos tienen la capacidad de captar y almacenar carbono en sus raíces y sedimentos. Se estima que almacenan 20% del carbono azul oceánico, por lo tanto los pastos marinos juegan un papel muy importante a largo plazo en el secuestro de carbono mitigando los efectos del cambio climático y contribuyendo a los objetivos de desarrollo sostenibles (ODS 13).

9

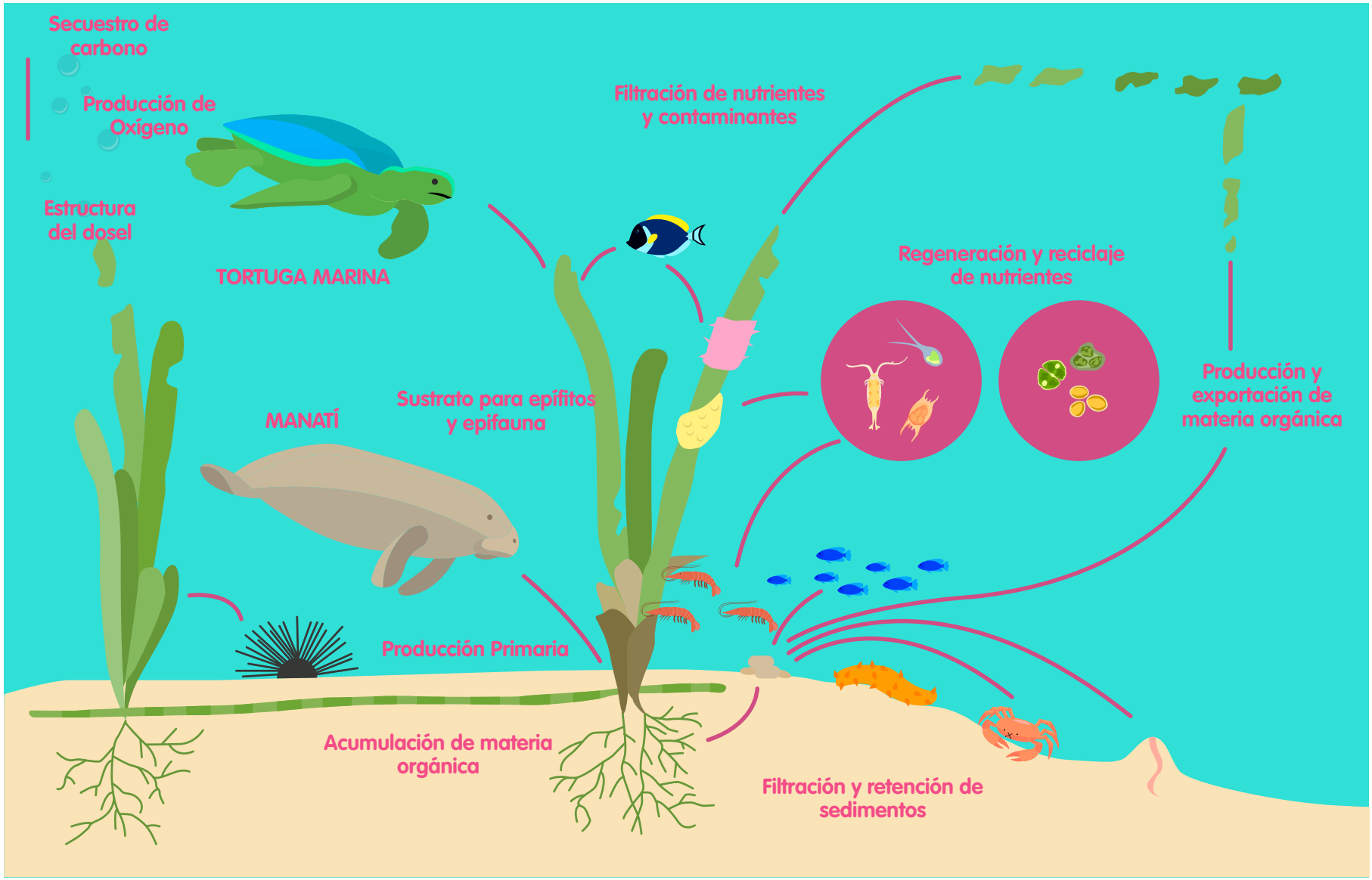


Figura 57. Funciones e importancia de los servicios ambientales que brindan el ecosistema de pastos marinos, tomado y modificado de: McKenzie et al., 2008.

8.3 Amenazas

La pérdida en la cobertura de las praderas de pastos marinos es un problema a nivel mundial, a menudo las causas de estas pérdidas están relacionadas a procesos naturales como la ocurrencia de huracanes e inundaciones, así como a enfermedades degenerativas o sobrepastoreo. Sin embargo, es más frecuente que la pérdida de grandes extensiones de pastos marinos esté relacionada con actividades humanas o la urbanización en zonas costeras, actividades turísticas, el dragado, eutrofización, contaminación o vertimiento de aguas residuales, así como cambios de uso de suelo e impactos físicos directos derivados de la navegación u otras actividades acuáticas (CCA, 2016) así como la extracción/remoción de los mismos por el turismo de sol y playa.

8.4 ¿Cómo cuidar a los pastos marinos?

Hay muchas maneras en las que puedes ayudar a detener pérdida de las praderas de pastos marinos de tu comunidad:

- Reduciendo la producción de basura, haciendo una correcta separación de tus residuos y fomentando el reciclaje.
- Evitar el uso de fertilizantes y pesticidas o bien utilizar alternativas orgánicas.
- Reducir la velocidad al navegar dentro de la laguna y evitar transitar en aguas poco profundas.
- Evitar redes de arrastre en zonas de praderas de pastos marinos.
- No descargar aguas residuales hacia la laguna.
- Participar en programas de conservación y monitoreo de pastos marinos.
- Evitar el uso de bloqueador, utilizar ropa que te proteja del sol.
- No arranques el pasto marino cuando estés en el mar.

¡Dato Fankárstico!...

Es muy importante que sepas que una vez dañados los pastos marinos, no pueden ser restaurados, es por eso que debes de ayudar a cuidarlos y conservarlos.

8.5 Los pastos marinos y la cultura

Se ha documentado el uso tradicional de trece especies de pastos marinos en muchas regiones costeras del mundo, el pasto marino ha sido y es un recurso rico y diverso, ya que aporta importantes servicios ecosistémicos para los residentes rurales y pueblos indígenas costeros. Sus hojas proporcionan material de construcción, relleno y tejido, y también son usadas como cordeles de pesca.

Las semillas o rizomas también son utilizados como ingredientes en la medicina tradicional (Wyllie-Echeverria, 2003). Para la cultura maya, los pastos marinos proporcionaron servicios ecosistémicos de manera indirecta, ya que son el alimento de algunas especies de tortugas marinas que eran animales importantes dentro de la cosmogonía maya, quienes relacionaban al caparazón con la bóveda celeste y al cuerpo de la tortuga con el eje que une tanto el cielo con la tierra.

8.6 Visión ecosistémica

Los pastos marinos son el sitio de crianza, refugio y alimentación de muchas especies juveniles de peces, e invertebrados, este ecosistema no existe en la naturaleza como un componente ecológico separado de otros, ya que a menudo están estrechamente vinculados a otros tipos de ecosistemas.

En zonas tropicales, incluyendo a la Península de Yucatán, los pastos marinos tienen asociaciones e interacciones muy complejas con comunidades de manglar (ecosistemas terrestres) y sistemas de arrecifes de coral (ecosistemas marinos). Por lo tanto, las acciones de manejo y de protección que realicemos para salvaguardar al ecosistema de pastos marinos tendrá repercusiones ecológicas de gran impacto ya que estaremos protegiendo a la biodiversidad de todo un ambiente marino.

Figura 58. Pastos marinos, especie *Siringodium filiforme*, foto cortesía de Mendoza-Martínez J.E

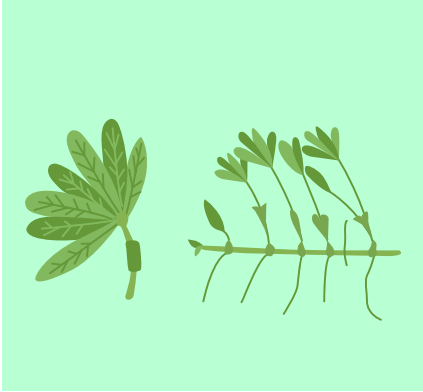
8.7 Actividad 10 Monitoreando las praderas de pastos marinos

Aprendizajes esperados. Al finalizar la actividad, los participantes:

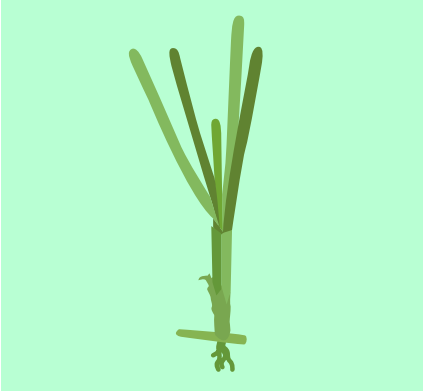
- Se familiarizan con las especies de pasto marino presentes en la PY y obtenga herramientas para identificarlo, monitorearlo y protegerlo.

Universo: 20 a 30 estudiantes desde nivel secundaria.

A) _____



B) _____



C) _____

Instrucciones

A) Identificación

¿Puedes identificar al menos a 3 especies de pasto marino presentes en la PY? De acuerdo a las características morfo-estructurales de las especies de pasto marino (hojas, raíces, rizomas) que se muestran en la imagen, identifica a 3 de las especies de pasto marino presentes en la PY.

HU (*Halodule uninervis*)

- Hojas en forma de correa.
- Vena única prominente que se extiende a lo largo centro de la hoja.

HS (*Halophila spinulosa*)

- Hojas oblongas dispuestas como un helecho.
- Bordes de las hojas dentados en forma de sierra.
- Capaz de vivir con poca luz.

HW (*Halodule wrigthii*)

- Hojas delgadas, planas de 10 a 30 cm de longitud.
- Punta de la hoja redondeada.
- Una o más raíces.

HD (*Halophila decipiens*)

- Hojas de forma ovalada
- Sistema de venas que cruzan la hoja.
- Raíz única, peciolo presente.
- Se encuentra en fondos arenosos de 4 a 6 m de profundidad.

SI (*Syringodium isoetifolium*)

- Hojas en forma de espagueti.
- Punta de la hoja con un solo punto.
- Las plantas viven en aguas poco profundas, sin quedar expuestas durante la marea baja.

Tt (*Thalassia testudinum*)

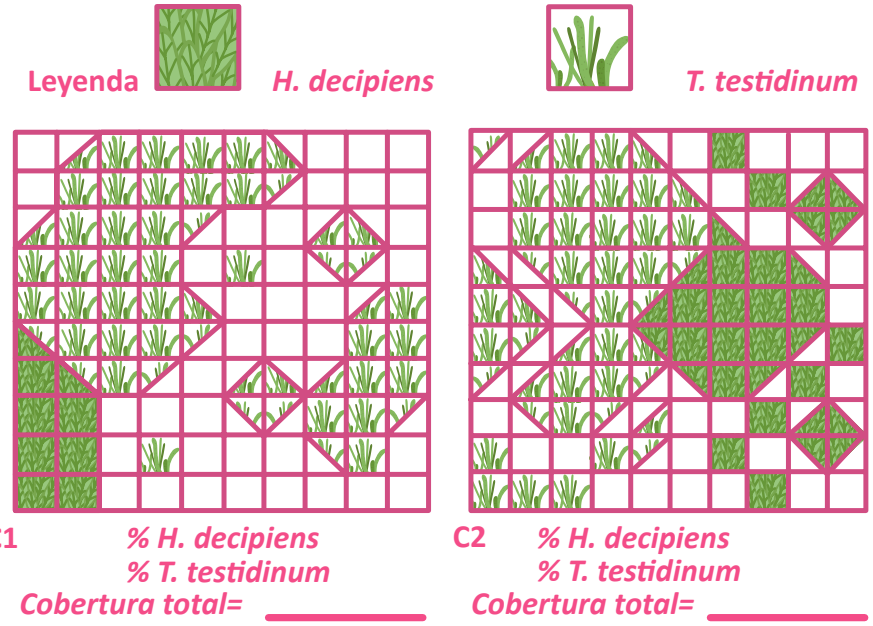
- Hojas en forma de láminas.
- Punta de la hoja redondeada.
- Una o más raíces.

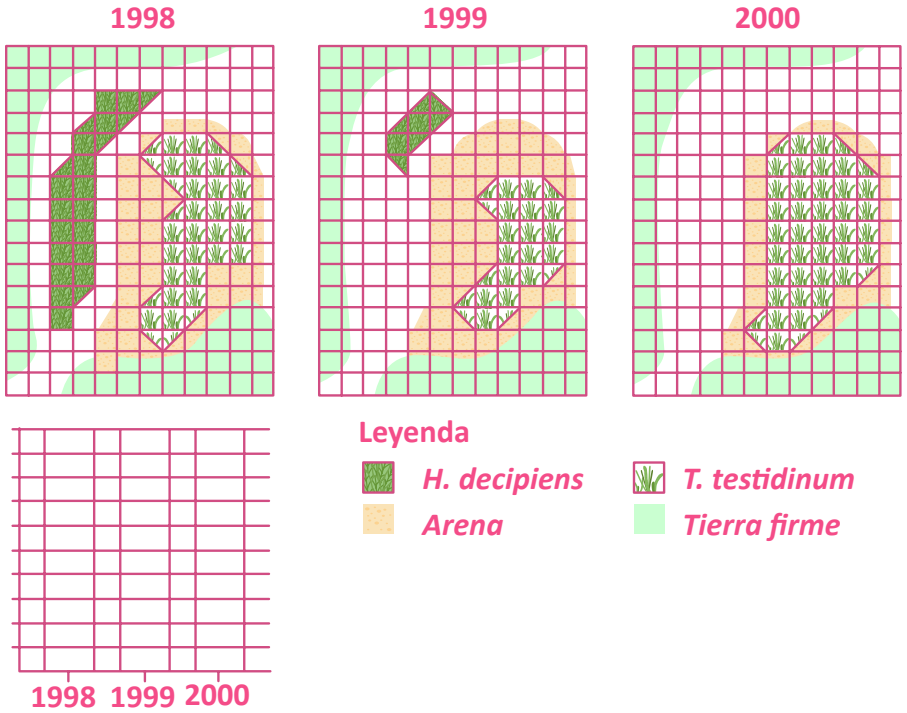
B) Cobertura de las praderas de pasto marino

Una forma en que podemos monitorear el pasto marino es medir la cantidad o cobertura de pasto marino dentro de un marco cuadrado (cuadrante) y comparar las variaciones con el tiempo. A continuación, en cada uno de los cuadrantes determina el porcentaje de cada especie de pasto marino presente (*Thalassia testudinum* y *Halophila decipiens*). Al final, suma la cobertura de ambas especies y determina la cobertura total, tomando en cuenta que cada cuadrícula es igual a 1%. ¿En el cuadrante 1 (C1) las praderas son mixtas o están conformadas por una sola especie? ¿En el C2 reconoces a alguna especie dominante?.

C) Mapeo

Una forma de monitorear a las praderas de pastos marinos es mapearlos con el tiempo. De los tres mapas a continuación, calcula el área de cada pradera de pastos marinos para cada año y traza los resultados en un gráfico de barras apiladas. Cada cuadrícula equivale a 1 hectárea. ¿Por qué crees que las coberturas de las praderas de pastos marinos varían entre años? ¿Identificas alguna actividad que tenga impactos negativos en la comunidad de pastos marinos de la PY?.





8.8 Actividad 11 ¿Monitoreando pastos no tan marinos

El monitoreo de las praderas de pastos marinos es una herramienta que sirve para detectar cambios en la cobertura de la cama de pastos ya que nos brindan una alerta temprana de la calidad del agua de la laguna, así como de los posibles impactos que están teniendo las actividades que se llevan a cabo a su alrededor.

Aprendizajes esperados. Al finalizar la actividad, los participantes:

- Se familiarizan con las especies de pasto marino presentes en la Península de Yucatán.
- Adquieren herramientas para identificar pasto marino, monitorearlo y protegerlo.

Universo: 20 a 30 estudiantes desde nivel secundaria

Materiales:

- 1 Flexómetro o cinta métrica de 30 m.
- 1 Cuadrante de tubo PVC (50 cm x 50 cm).
- 1 Hoja de campo.
- 1 lápiz y 1 regla de 30 cm.
- 1 cámara fotográfica (celular).
- Hojas de identificación pastos marinos.
- 1 Hoja identificadora del cuadrante.

Instrucciones:

Para realizar este monitoreo fuera del aula, es necesario ubicar un sitio con la presencia de pastos y/o arbustos. El espacio necesario es de 20 m lineales, se tendrán que formar 3 equipos de 5 a 8 personas.

Coloca un transecto de 20 m de largo utilizando el flexómetro (fijarlo bien en ambos extremos), el transecto debe estar colocado al azar sobre la cama de pasto, sin importar si hay o no presencia de pasto (ver diseño del transecto). Dentro de cada uno de los cuadrantes completar los siguientes pasos:

1. El cuadrante se colocará a un costado del transecto en el siguiente orden: 0m, 10m y 20m. En el primer cuadrante (0m) se colocará en una de las esquinas la hoja identificadora del cuadrante con los siguientes datos: Sitio+ cuadrante+transecto (pastopatio+C1+T1). Se tomará una fotografía en el primer cuadrante que estará colocado a los 0m, evitando sombras o reflejos, la foto debe abarcar la totalidad del cuadrante.

2. Estima el porcentaje total de la cobertura de pastos y hierba dentro del cuadrante, para ello puedes dividir el cuadrante en 4 partes dónde cada parte representa el 25%.

3. Identifica a los diferentes tipos de pastos o hierbas dentro del cuadrante y determine el porcentaje de contribución de cada una a la cobertura (debe totalizar 100%).

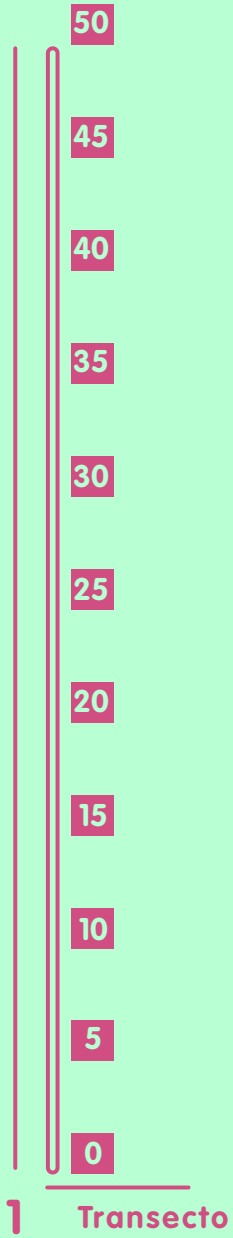
4. Con la regla mide el largo de 5 hojas del arbusto más abundante. Por ejemplo, si el pasto es el más abundante dentro de tu cuadrante, mide el largo de 5 hojas.

5. Anota datos de interés dentro de tu cuadrante, por ejemplo, contabiliza la presencia de insectos.

6. Es muy importante anotar en tu hoja de campo los siguientes datos en cada cuadrante que realices: Fecha, hora, nombre de los monitores, cuadrante, número de fotografía, cobertura, etc.

7. Repite lo mismo en el cuadrante 2 (10m) y 3 (20m). Cada equipo deberá analizar un cuadrante.

8. ¡Analiza los resultados!



IX.
Arrecife

Un arrecife de coral, es un ecosistema marino que posee una estructura rocosa formada por la acumulación de los esqueletos de los animales marinos, cada coral contiene pequeños animales llamados pólipos, que parecen una medusa boca arriba. Estos animales forman un exoesqueleto, que al acumularse conforman complejas estructuras rocosas de diferentes dimensiones y formas. Los pólipos albergan en su interior unas microalgas llamadas zooxantelas. Entre estas algas y los pólipos se establece una relación de simbiosis, en donde ambos participantes se benefician: las microalgas le proporcionan nutrientes al coral debido al proceso de fotosíntesis, y los corales le brindan resguardo y bióxido de carbono a las microalgas.

Bajo las condiciones óptimas los corales solo crecen algunos milímetros al año, por lo que construir las grandes estructuras tridimensionales de carbonato de calcio que forman los arrecifes coralinos es un proceso que tarda cientos de miles de años **(Fig. 59).** Después de este tiempo, el arrecife alcanza la madurez, y la biodiversidad marina se concentra a vivir en las oquedades y a su alrededor. Sin embargo, los corales, por estar formados de pequeños y frágiles pólipos suelen ser muy sensibles y es por eso que es tan importante protegerlos y no tocarlos ni dejar que les caiga sedimento o arena encima.

Figura 59. Arrecifes de Coral, foto cortesía de Ana Giró.

Los arrecifes de coral son considerados uno de los ecosistemas de mayor diversidad en el mundo, comparables con los bosques tropicales lluviosos, caracterizados por su alta heterogeneidad y complejidad estructural, ubicándolos dentro de los ecosistemas más productivos del planeta. **(Margales, 1974; Sale, 2004).** Por ejemplo, albergan a más de 8,000 especies de peces lo que representa casi el 25% de todas las especies de peces marinos conocidos hasta ahora.

Figura 60. Arrecife moderno de mares tropicales someros. Tomado y modificado de: Fernández, 1989.

Figura 61. Clasificación de Arrecifes de Coral. Tomado y modificado de: Marinebio.

9.1 Formación

Los arrecifes de coral se suelen formar en lugares tropicales y subtropicales donde existen las condiciones adecuadas para que prosperen, maduren y se reproduzcan los pólipos de coral y los demás organismos asociados a los arrecifes (Fig. 60). El paso inicial para la formación es contar con suficiente luz solar, el ambiente ideal son los mares tropicales someros con agua clara y una temperatura superior a los 22°C (RAMSAR, 2015). Se desarrollan en aguas cálidas, claras y tranquilas. Su distribución está relacionada con la temperatura del agua, profundidad, intensidad de la luz, salinidad, turbulencia y sedimentación.

Los arrecifes de coral suelen clasificarse de acuerdo con su origen, forma y cercanía a la costa (Fig. 61), los principales son: arrecife bordante o costero, arrecife de plataforma, arrecife de barrera y atolón (Spalding et al., 2001; Done, 2011) (Fig. 58).

La mayoría de los arrecifes coralinos se ubican en mares y océanos con regiones de temperaturas tropicales y subtropicales, que se encuentra entre los trópicos de cáncer y de capricornio (Fig.63). Algunos de los países con los más bellos e importantes arrecifes coralinos son los siguientes:

Australia, Gran Barrera de Coral, es el más grande de todo el mundo. Tiene una longitud de 2,300 km de la costa de Queensland, con más de 400 diferentes tipos de coral. Belice, Barrera de Coral, mide

aproximadamente 300 kilómetros y forma parte del del Sistema Arrecifal Mesoamericano, en el habitan más de 60 tipos de corales y 300 especies de peces.

México, Arrecife Palancar, es parte del arrecife denominado "Gran Cinturón de Arrecifes del Atlántico Occidental, o también conocido como "Gran Arrecife Maya". India, Arrecife del mar Andama, ubicado en el océano índico, habitan más de 200 especies de coral y 500 tipos de peces. Indonesia, Arrecife de Raja Ampat, es un paisaje remoto e inalterado por el hombre, en el cuál habitan más de 1,500 especies, 537 de coral y 700 tipos de moluscos.

En los diferentes océanos que se encuentran tienen una parte frontal que está expuesta al océano abierto, donde se produce el mayor crecimiento de corales y una parte poco profunda, llamada parte posterior de aproximadamente un metro de profundidad. **(Burke, 2011)**

¡Dato Fankárstico!...

Los arrecifes coralinos albergan más del 35% de la biodiversidad marina conocida. Se calcula que existen unas 4000 especies de peces en los arrecifes de coral de todo el mundo. Representan una cuarta parte del total de especies de pez que se conocen.

Figura 62. Coral cerebro, foto cortesía de Ian Drysdale

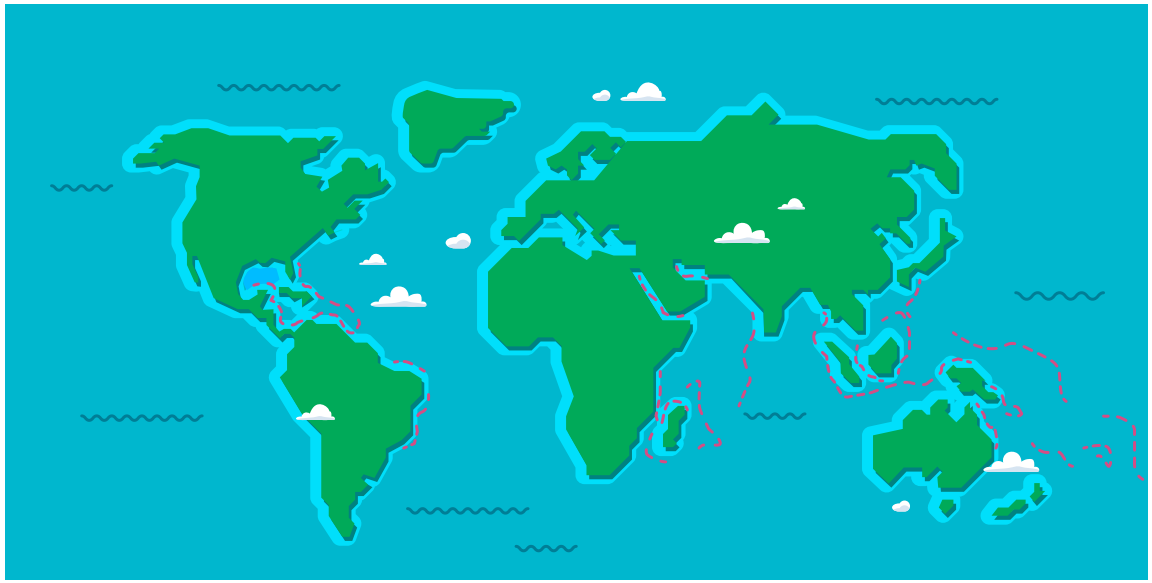


Figura 63. Mapa de distribución Arrecifes de Coral en el mundo. Tomado y modificado de: WRI,2011.

En México, lo distribución de los arrecifes se divide en seis regiones principales (Fig. 64), cada una con biodiversidad endémica y características especiales. (AIDA, 2014)

1. Golfo de California y oeste del Pacifico mexicano.
2. Archipiélago de Revillagigedo.
3. Islas Marías.
4. Costa del Pacifico Sur.
5. Golfo y banco de Campeche.
6. Caribe Mexicano.

Figura 64. Distribución Geográfica de los arrecifes coralinos en México. Fuente AIDA, 2014.

9.2 Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM)

Esta región (número 6 en el mapa) comprende el Mar Caribe, el Golfo de México, así como una parte del Océano Atlántico noroccidental y se divide en nueve subregiones, una de ellas, el Caribe Occidental, la cual alberga uno de los sistemas arrecifales de mayor longitud no sólo de la región, sino del mundo entero: el Arrecife Mesoamericano (Burke y Maidens, 2005).

El Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) se ubica a lo largo de las costas de cuatro países (Fig. 65): México, Belice, Guatemala y Honduras, e incluye dos áreas transfronterizas: la Bahía de Chetumal (entre México y Belice) y el Golfo de Honduras (entre Belice, Guatemala y Honduras) (Almada-Villela et al., 2003).

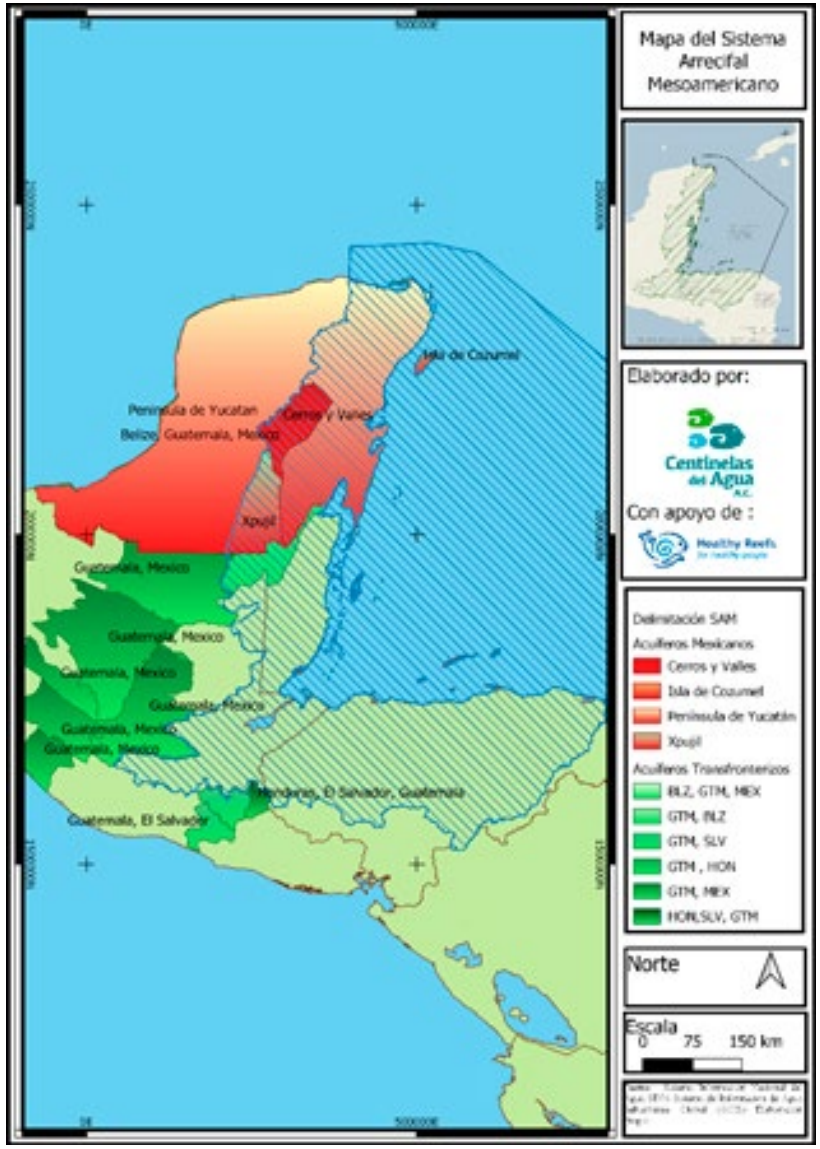


Figura 65. Mapa del Sistema Arrecifal Mesoamericano: Delimitación de la ecorregión del SAM

Se extiende por más de 1,000 km, lo que lo convierte en el complejo arrecifal más extenso del hemisferio occidental y el segundo del mundo después de la Gran Barrera de Coral en Australia **(Kramer y Kramer, 2002).**

Dentro de la Península de Yucatán se encuentra una subzona arrecifal llamada los Cuevones, está integrada por una superficie total de 941.6289 hectáreas, no excede la cota de los 10 metros de profundidad localizada al noroeste y norte de Cabo Catoche. Presenta una estructura donde predomina una alta densidad de macroalgas y gorgonáceos de los blandos **(DOF, 2018).**

9.3 Servicios Ambientales

Los arrecifes coralinos son lugares con una gran importancia ecológica **(Tabla 10)** y se les conoce como hábitats críticos por su diversidad de funciones. Juegan un papel muy importante en la dinámica costera al prevenir la erosión y disminuir la fuerza del oleaje, además de constituir la estructura de protección más efectiva contra el fuerte efecto de las tormentas tropicales y huracanes.

Los organismos marinos tienen una participación muy importante dentro del ecosistema, algunos como productores primarios, constructores del mismo arrecife, filtradores y depredadores. Los arrecifes son lugares de crianza, refugio, alimentación y reproducción de muchas especies de invertebrados y vertebrados principalmente de especies de valor o importancia comercial dando alimento a una gran parte de la población mexicana **(Biodiversidad Mexicana, 2020) (Fig. 66).**

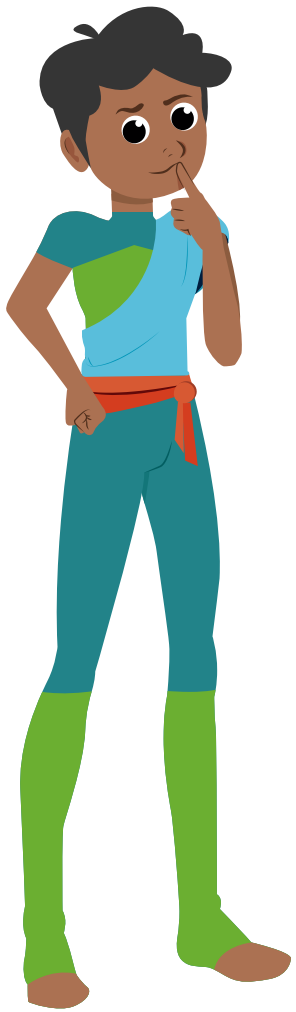


Tabla 10. Funciones e importancia de los servicios ambientales que brindan el ecosistema de Dunas Costeras.

Función	Importancia Ambiental
Abastecimiento	
Alimento	Más de 275 millones de personas en todo el mundo viven en zonas aledañas a los arrecifes de coral (dentro de 30 km de arrecifes y a menos de 10 km de la costa), y aproximadamente 850 millones de personas viven en 100 km de arrecifes de coral (Burke, et al., 2011).
Biodiversidad Marina	Abastecen a las poblaciones costeras asociadas
Medicina	Los arrecifes de coral son los botes de medicina del siglo XXI, con más de la mitad de todas las nuevas investigaciones de medicamentos contra el cáncer que se centran en los organismos marinos. Los arrecifes de coral se han utilizado en el tratamiento del cáncer, el VIH, las enfermedades cardiovasculares, las úlceras y otras enfermedades (Fenical, W. 1996).
Regulación	
Absorción de CO_2	Retención de suelos al tratarse de áreas receptoras de los sedimentos marinos. Favorece el mantenimiento y diversificación de los suelos.
Estabilidad morfosedimentaria.	
Protección a la costa	Amortiguación de eventos hidrometeorológicos extremos (Burke, et al., 2011).

10

Modificación de la corrientes marinas	Permiten el establecimiento de comunidades asociadas a este sistema como las praderas de pastos marinas y el manglar. Diversifica la presencia de flujos sub-superficiales y subterráneos.
Culturales	
Actividades recreativas y ecoturismo	Evolución y funcionamiento de las dunas y su funcionamiento.
Paisaje y disfrute estético	Actividades recreativas y ecoturismo ligadas a los arrecifes.
Educación ambiental	Refleja de forma muy clara la evolución de los paisajes. Constituye un ámbito ideal para explicar y transmitir conocimientos sobre estas unidades.
Identificación cultural y sentido de pertenencia	Ámbitos que se identifican y reconocen por sus arrecifes. Valores asociados al lugar (tradiciones).

10

9.4 Amenazas

El reporte de salud 2020 de la Iniciativa Arrecifes Saludables realizado por Healthy Reefs de la cual Centinelas del Agua A.C. es socio, demostró que de los 286 sitios monitoreado en el SAM 46 % tienen una clasificación mala, y los sitios buenos se redujeron del 13% (2006) al 8% en el 2020. Esto debido al incremento de temperatura en los océanos, la contaminación debido a las aguas residuales que desembocan al mar sin el tratamiento adecuado, esto provocando aumentando la proliferación de algas, el aumento de los lixiviados y enfermando a los arrecifes **(HRI, 2020).**

El aumento de temperatura en el mar resulta en el “blanqueamiento” de los corales. Este fenómeno sucede cuando las algas simbiontes mueren o son expulsadas de los pólipos debido al estrés ocasionado por el aumento brusco de temperatura.

Los blanqueamientos de coral han aumentado en los últimos 30 años debido al Calentamiento Global es importante mencionar que, al disminuir la temperatura en los mares y océanos, los arrecifes de coral logran recuperarse del "blanqueamiento" (CONABIO, 2020).

El síndrome de coral blanco es otra amenaza que se ha ido presentando en los últimos años y afecta a los sistemas arrecifales coralinos (Fig. 67), este síndrome que por la similitud de las palabras se puede confundir con el "blanqueamiento", es más severo por qué el Síndrome de coral blanco mata a los pólipos, los cuáles son los organismos vivos del coral, dejando expuesto el esqueleto.

Los factores antropogénicos como la contaminación química por plásticos, la pesca desmesurada, el turismo no sustentable y el vertido de aguas residuales al mar, son factores que dañan y amenaza la salud del arrecife.

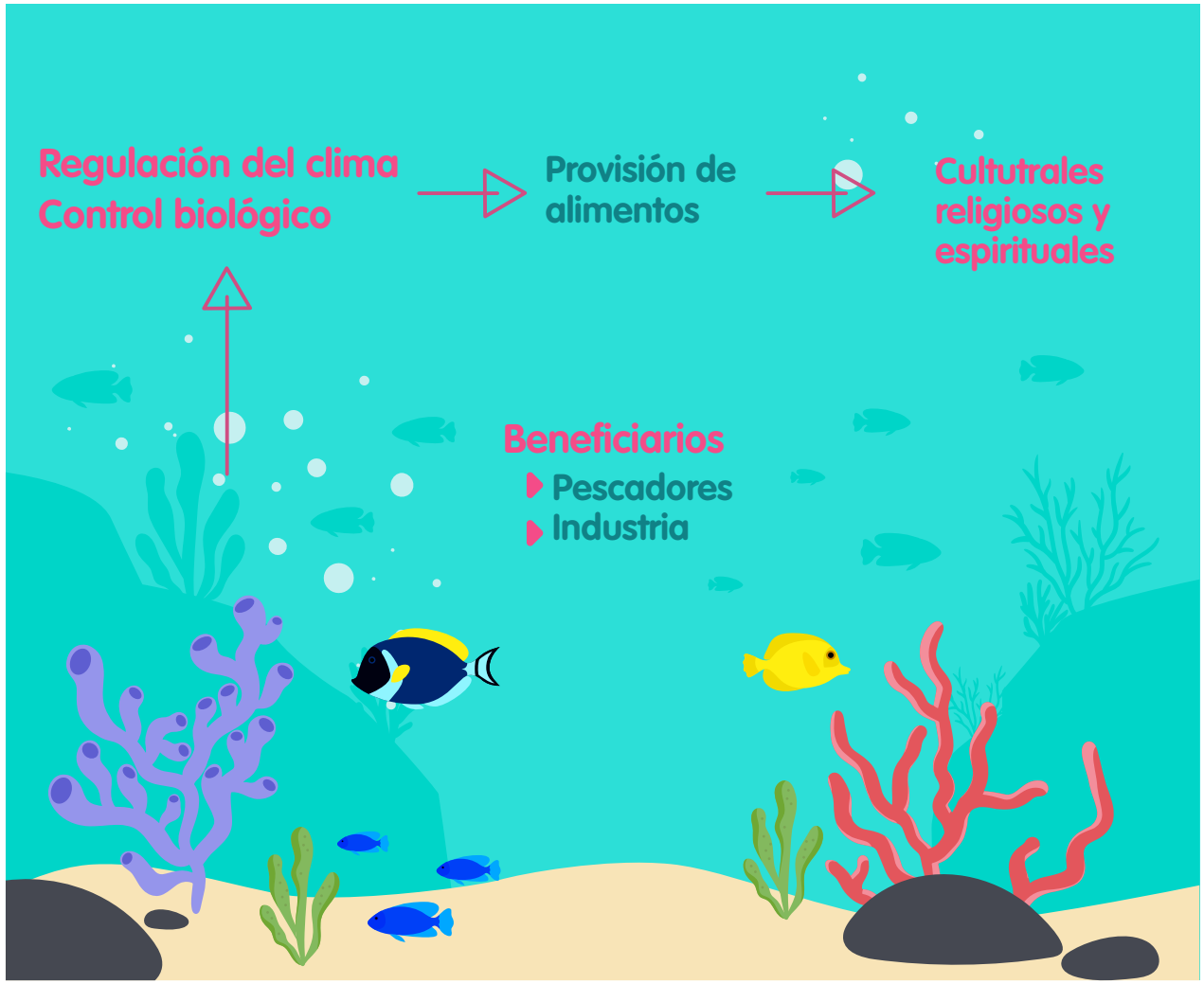


Figura 66. Marco conceptual de los servicios ecosistémicos de los sistemas arrecifales coralinos. Interacción entre el ecosistema arrecifal coralino y la sociedad. Tomado de: Alva-Basurto y Arias- González, en preparación.

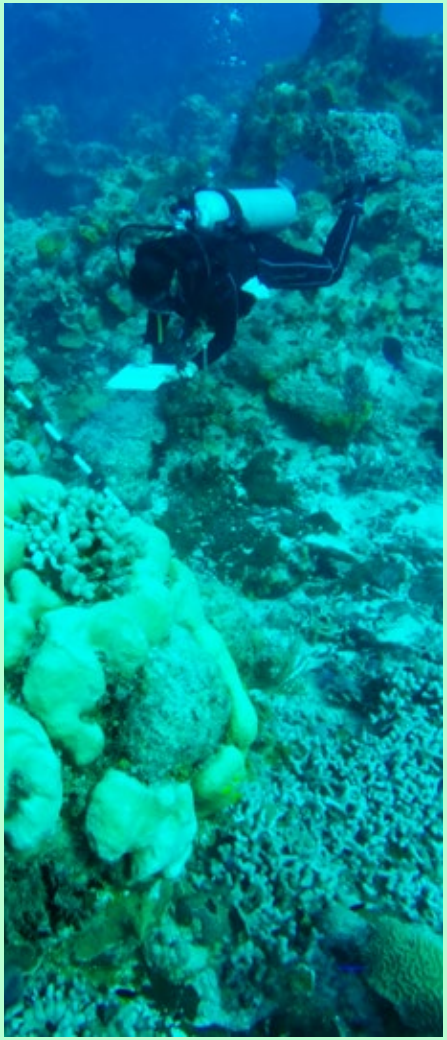


Figura 67. Blaqueamiento de Coral, foto cortesía de Mélina Soto.

9.5 ¿Cómo cuidar a los arrecifes?

Hay muchas maneras en las que puedes ayudar a detener pérdida de los arrecifes de coral de tu comunidad:

- Cuidando el agua, si reduces tu consumo también se reduce la cantidad de agua contaminada que llega al océano.
- Generando menos contaminación, utiliza medios de transporte más amigables con el ambiente, como caminatas o la bicicleta. Recuerda que el cambio climático y la emisión de gases contaminantes los está enfermando.
- Evitar el uso de fertilizantes y pesticidas o bien utilizar alternativas orgánicas.
- Respetar a los arrecifes de coral, realiza prácticas de turismo sustentable, evitando el uso de químicos cuando visites al mar, no tirando basura.
- Evita el uso de bloqueador solar, utiliza ropa que te cubra del sol en su lugar.
- No toques los arrecifes ni las especies que ahí habitan.
- No te lleves conchas ni fragmentos de coral.

9.6 Los arrecifes y la cultura

Investigaciones de arqueología subacuática señalan que a lo largo de la costa se localizan estructuras mayas que pudieron haber servido como señalamientos o faros en tiempos anteriores a la llegada de los españoles. Muchas de estas edificaciones marcan exactamente los cortes o entradas a algunos de los arrecifes de la zona y en otros casos incluso señalan lugares de peligro.

Un dato importante es que varios de los faros modernos están construidos muy cerca de estas estructuras (Luna- Erreguerena, 2002). Derivado del "Proyecto de Investigación de la Flota de la Nueva España de 1630- 1631 e Inventario y Diagnóstico de los Recursos Culturales Sumergidos en el Golfo de México" desarrollado por el INAH, en Banco Chinchorro han de navíos del siglo XVI al XXI. Incluyen galeones españoles que realizaban viajes de reconocimiento al Nuevo Mundo, así como barcos piratas ingleses, franceses y holandeses, hasta naufragios recientes que se dieron con el huracán Wilma en 2005.

9.7 Visión ecosistémica Los arrecifes de coral

Son ecosistemas de vital importancia para las zonas costeras de Quintana Roo, proveen diversos servicios ambientales como: provisión, protección contra huracanes, belleza paisajística, refugio y crianza de fauna marina, contribuyen a la formación de las arenas blancas del caribe mexicano y son el principal atractivo turístico de la región.

El Sistema Arrecifal Mesoamericano es la segunda barrera arrecifal más grande del mundo recibiendo la descarga de las aguas subterráneas y superficiales de la zona continental, recibiendo así numerosos componentes y nutrientes, es por ello que todo está conectado, desde la cuenca hasta el arrecife, las acciones que hagamos tierra adentro repercutirán de una forma u otra al arrecife de coral.

9.8 Actividad 12 Haciendo esqueletos de coral

Aprendizajes esperados. Al finalizar la actividad, los participantes:

Comprenden que la materia prima de los esqueletos de los corales está contenida en el agua de mar y que el pólipo de coral tiene la habilidad para extraer esas materias primas del agua de mar y producir con ellas una substancia sólida.

Universo: 20 a 30 estudiantes desde nivel secundaria

Materiales:

- Una taza de vinagre blanco en un recipiente de cristal.
- Una barra de gis blanco, partido en varios pedazos.
- Una taza de agua de la llave en un recipiente de cristal.
- 6 cucharaditas de polvo para hornear.
- Un recipiente de cristal con capacidad para dos tazas.

Instrucciones:

En la naturaleza, la cal (compuesta de calcio y de oxígeno) está disuelta en el agua de mar. Un pólipo de coral extrae esta cal del agua que rodea, la combina con carbono y oxígeno en sus células y produce aragonito, una forma de carbonato de calcio ($CaCO3$). De esta forma, el agua de mar cristalina, provee al coral las substancias para la construcción del material blanco sólido.

En esta demostración, se explica cómo el coral está capacitado para producir carbonato de calcio a partir del agua de mar cristalina. Aunque no podemos duplicar en el salón de clases el proceso exacto por el cual los corales extraen la cal del agua de mar, podemos mostrar que los materiales para formar los esqueletos de los corales existen en el agua de mar.

1. Mezcle una taza de vinagre blanco con una barra de gis blanco, partida en pedazos pequeños. Deje reposar por dos horas. Decante y guarde el líquido claro. La tiza que queda puede ser descartada.

2. En otro recipiente, mezcle una taza de agua de la llave con seis cucharaditas de polvo de hornear. Agite de vez en cuando por 15 minutos. Deje asentar, separe y guarde el líquido claro. Cualquier soda de hornear que quede puede ser descartada.

3. Combine los dos líquidos claros en un recipiente de vidrio. Se formará un precipitado blanco, que se asentará. Este proceso de mezcla representa a un pólipo de coral extrayendo calcio del agua de mar, combinándolo con dióxido de carbono y produciendo aragonito, el material duro, blanco del cual están hechos los esqueletos de los corales.

4. Si la mezcla no se pone opaca, agregue más polvo de hornear hasta que se forme el precipitado.

5. Deje la mezcla quieta hasta que el precipitado blanco se asiente. Este material blanco representa el esqueleto blanco del coral producido por el pólipo del coral.

6. Si se desea, el líquido se puede decantar, y dejar que el precipitado blanco se seque para mostrar su naturaleza sólida. Este material puede ser probado aún más: El carbonato de calcio, la substancia de los esqueletos de los corales, reacciona con ácidos débiles (así como el vinagre).

7. Luego de explicar esto a los estudiantes, agregue un poco de vinagre blanco al precipitado y observe como efervesce. Esta reacción demuestra que verdaderamente, el material es carbonato de calcio.

8. El facilitador guía un análisis sobre la química de estas reacciones.

9.9 Actividad 13 "El coral más fuerte"

Aprendizajes esperados. Al finalizar la actividad, los participantes:

Aprenden sobre los factores físicos que limitan el lugar en que se pueden desarrollar los arrecifes de coral.

Entienden las relaciones entre los organismos y su ambiente físico, así como conocer los procesos físicos que dan forma a la superficie terrestre.

Universo: 20 a 30 estudiantes desde nivel secundaria

Materiales:

- Un dado.
- Una tarjeta de papel (reciclado) por estudiante.

Instrucciones:

1. Dirija a los estudiantes en una discusión sobre las condiciones que pudieran limitar el lugar en que se desarrollarán los arrecifes de coral. Para ello, pídales que mencionen algunas de las condiciones que necesitan los corales formadores de arrecifes para sobrevivir como la temperatura adecuada del agua, aguas claras y de poca profundidad, etc.

2. Escriba los requerimiento o parámetros óptimos para el crecimiento del coral, recalcando a los estudiantes que un sitio deberá cubrir todos estos requisitos para que un arrecife pueda establecerse con éxito y sobrevivir.

3. Muestre a los estudiantes el dado y explíqueles que realizaran un juego en el cual todos serán "corales" en buscan de un lugar para asentarse y crecer. Cada estudiante tirará el dado tres veces, una vez por cada factor de supervivencia.

Factores óptimos de crecimiento	No. de tiros
• *Temperatura*	3
• *Sustrato o profundidad*	3
• *Oleaje*	3
• *Estado de salud*	3

4. Explique que, para sobrevivir, ellos tendrán que sacar uno de los siguientes números cuando tiren el dado:

Factores óptimos de crecimiento

• *Temperatura*	*2,3,4,5*	*1 es muy fría, 6 es muy caliente*
• *Sustrato/profundidad*	*1, 2, 3, 4*	*5,6 muy profundo*
• *Oleaje*	*4, 5,6*	*1,2,3 muy débil para acarrarear nutrientes*
• *Síndrome del Coral Blanco*	*1,2,3 sanos*	*4 ,5,6 enfermos*

5. Cada estudiante tendrá que realizar una tarjeta en la que irán anotando los resultados de sus tiradas. Invite a los estudiantes uno a la vez a tirar el dado. Asegúrese de indicar para qué factor están lanzando, es importante comenzar por la temperatura. Una vez concluidas el número de tiradas para el primer factor, revisar los resultados de sus tarjetas. Los estudiantes que obtengan sus 3 tiradas con buenos resultados pasan a la siguiente ronda: sustrato o profundad.

6. Realizar los tiros correspondientes y definir qué estudiantes pasan a la siguiente ronda, repetir esta operación hasta cubrir todos los factores.

7. Calcule el porcentaje de corales que sobreviven cada ronda.

8. Reúna a los "corales" calificados que podrán crecer exitosamente frente a la clase para una ronda final. Haga a cada estudiante las siguientes preguntas:

- ¿Qué requisitos de temperatura tienen los corales?
- ¿Qué requisitos de profundidad?
- ¿Por qué los corales formadores de arrecifes necesitan oleaje fuerte?
- ¿Qué causa la enfermedad del coral blanco?
- ¿Cómo podemos ayudar al ecosistema subacuático llamados arrecifes de coral?

?

Nombre	Temperatura del agua	Profundidad del agua	Oleaje	Enfermedad del coral blanco

X.
De la cuenca al arrecife, una visión ecosistémica

La visión ecosistémica es la estrategia por medio de la cual se desarrolla el sentido de enseñanza y aprendizaje a través de los componentes de un ecosistema y sus servicios ambientales, considerando a la cuenca como la totalidad del programa educativo. Es decir, si se quiere diseñar un programa de educación ambiental para la protección y conservación del acuífero kárstico, por ejemplo, es indispensable conocer y aplicar el enfoque ecosistémico como base técnica y filosófica para el desarrollo de las actividades educativas destinadas a la sustentabilidad.

Lo anterior implica que el proceso de enseñanza abarque todos los servicios ambientales del acuífero kárstico recalcando sus propiedades como conector entre ecosistemas, iniciando con aquellos que se encuentran tierra adentro (como la selva), para continuar con los ecosistemas costeros (humedales, dunas, pastos marinos y manglares) hasta llegar a los ecosistemas marinos (arrecifes de coral).De esta manera, es posible concebir de manera integral al acuífero como un ente promotor del equilibrio ecológico. En una visión más amplia, por ejemplo, podemos considerar una cuenca como el área de aplicación para el diseño de una estrategia de educación ambiental de una zona específica, por lo tanto, el programa educativo tendría siempre como prioridad la conservación de la cuenca en sí.

A partir de esto, la educación ambiental debe enfocarse a realizar un proyecto comprendido por subtemas y contenidos tales como la importancia de la selva en la cuenca, la importancia del suelo en la cuenca, el clima en la cuenca, la población humana en la cuenca, etc.; siempre resaltando las cualidades y características de la cuenca, con el fin de mantener el enfoque ecosistémico.

Dato Fankárstico:
El científico Daniel Goleman y sus colaboradores (2012), señalan que los seres humanos poseemos varios tipos de inteligencia, uno de las cuales es la inteligencia ecológica, aquella que desarrollamos a través de nuestro sentido de pertenencia y contacto con la naturaleza.

10.1 Los recorridos vivenciales y la inteligencia ecológica

Tomando en cuenta el enfoque ecosistémico, es no sólo pertinente sino necesario sacar a los alumnos de las aulas y conducirlos a un entorno natural, para reconectar sus sentidos con el ecosistema y lograr que lo revaloren, que se hagan participes de su entorno al hacer visible aquello que permanece inadvertido en la cotidianidad y a lo que no se le da su justo aprecio.

La educación ambiental es una manera de estimular a los niños, jóvenes y adultos, que se erige como una gran aliada en los recorridos vivenciales, los cuales brindan múltiples beneficios para las personas que tienen la oportunidad de experimentarlos desarrollando así su inteligencia ecológica (Fig. 68). Por lo tanto, la mejor forma de poner en práctica el enfoque ecosistémico es complementar los conceptos aprendidos en el aula salón o "interacción uno-a-uno", con los recorridos vivenciales. Estos recorridos tienen como objetivo sensibilizar a los estudiantes sobre temas prioritarios relativos a la conservación, por ejemplo, del acuífero kárstico y por consecuencia, a todos los ecosistemas asociados a él. Por lo tanto, la educación ambiental con enfoque ecosistémico hace factible desarrollar actitudes, consolidar opiniones y fortalecer argumen tos que desarrollan empatía con el medio ambiente y así interactuar con sensibilidad y un sentido de responsabilidad hacia la naturaleza, al tiempo que se percibe la belleza de un árbol, el sonido de las aves y el paisaje, por ejemplo.

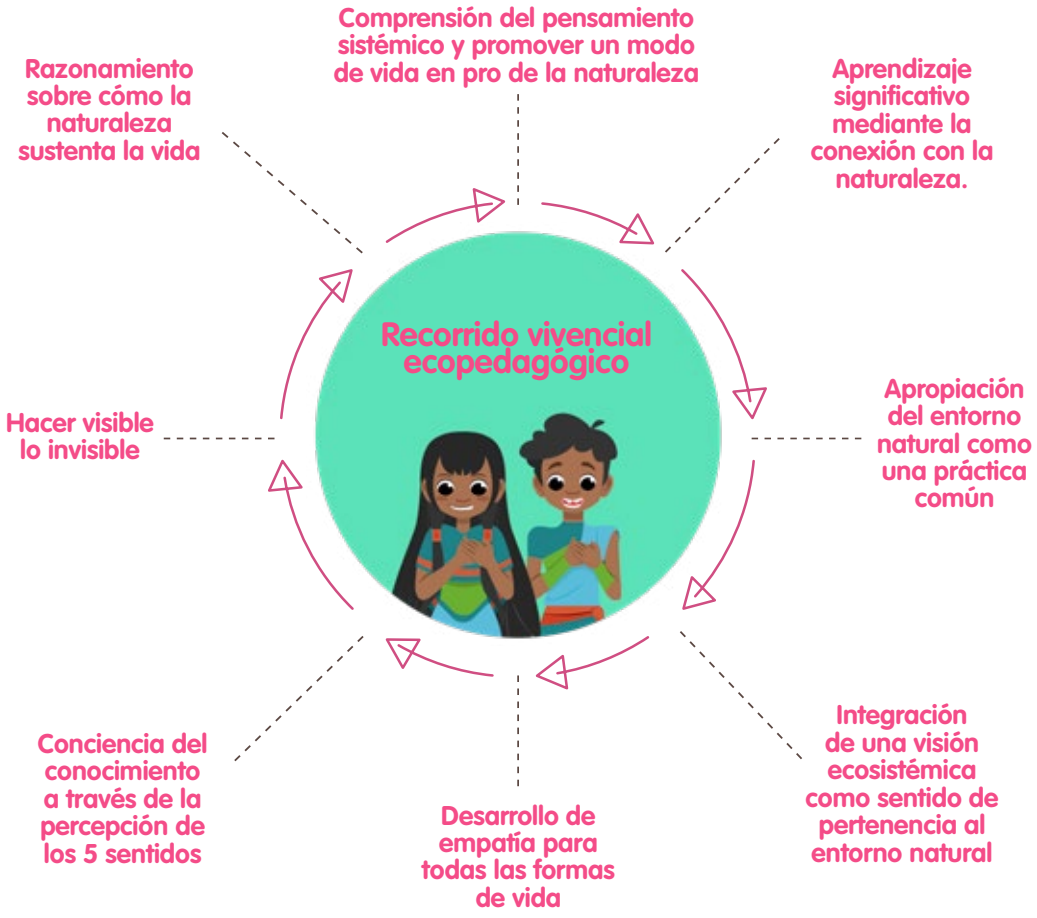


Figura 68. Beneficios de los recorridos vivenciales con el principio de Inteligencia Ecológica (Modificado y adaptado de Goleman, 2009).

Figura 69, 70 a, 70 b. Beneficios de los recorridos vivenciales c on el principio de Inteligencia Ecológica, fotos tomadas por Centinelas del Agua A. C.

Dato Fankárstico:

El científico Daniel Goleman y sus colaboradores (2012), señalan que los seres humanos poseemos varios tipos de inteligencia, uno de las cuales es la inteligencia ecológica, aquella que desarrollamos a través de nuestro sentido de pertenencia y contacto con la naturaleza.

El trabajo colaborativo y en equipo es parte primordial de este proceso de aprendizaje vivencial, donde se lleva acabo el escucha-activa de todos los participantes. El facilitador promueve la participación del grupo haciendo preguntas clave y/o dirigidas sobre lo que perciben en el ecosistema, su sentir, las emociones, los olores, los colores, es decir poner atención en todo lo que el cuerpo percibe y distingue de cada ecosistema. El escuchar la opinión de cada participante confiere al recorrido en una experiencia única, nutrida y colaborativa, fortaleciendo las relaciones interpersonales y la conexión con la naturaleza.

10.2 Actividad 14 Recorrido vivencial

Actividad para profesores.

Objetivo: Que los profesores de distintos niveles educativos realicen sus propios recorridos vivenciales con el principio de Inteligencia Ecológica y los adapten al contenido de sus materias impartidas.

Instrucciones:

1. La realización de un recorrido vivencial está al alcance de cualquier profesor, para ello es necesario realizar el diseño de los mismos tomando en cuenta las siguientes consideraciones (Fig. 71):

Figura 70 b. Recorrido Vivencial Educativo llevado a cabo por Centinelas del Agua en Lagunas de San Ángel, Lázaro Cárdenas, Quintana Roo.

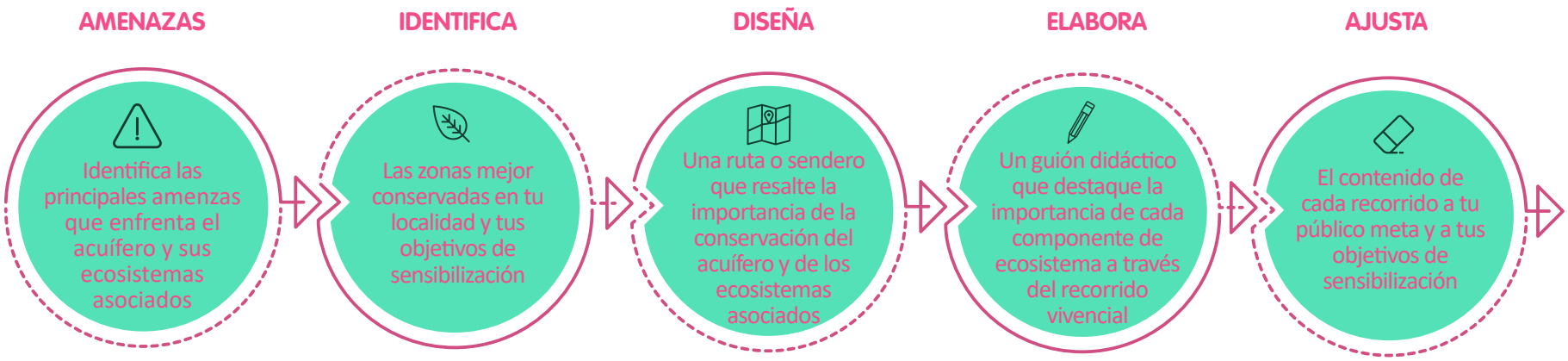


Figura 71. Recorrido vivencial con enfoque ecosistémico.

2. Una vez definidos e identificados estos pasos, se procede a identificar las estaciones (las que se consideren necesarias, pero no mayores a diez) para llevar a cabo los recorridos vivenciales con visión ecosistémica. Cada estación deberá tener congruencia con el diseño del programa educativo, es decir, con los temas prioritarios. En este caso, tomaremos como ejemplo la importancia del acuífero kárstico. Para ello la Estación 1: "¿Qué es una cuenca?", será con la que se inicie el recorrido, situados en el punto con más vegetación en la selva, por ser ese lugar donde mejor se aprecian algunas características de la cuenca, así como la formación del suelo y su importancia con la precipitación, infiltración y escorrentía.

Se sugiere considerar como tiempo máximo quince minutos por cada estación del recorrido, tiempo en el cual se pueden realizar actividades didácticas o lúdicas que permitan sensibilizar al público meta sobre la importancia de preservar los recursos naturales.

Estas actividades deben promover la interacción de los sentidos, como el oído, el gusto, el tacto, el olfato y la vista, de esta manera tendrán mayores probabilidades de generar un recuerdo permanente en sus alumnos; la idea es que quienes participen de la experiencia salgan transformados y convencidos de que el cuidado del entorno natural es necesario.

3. Establecer el tiempo que será empleado en cada estación y el tiempo total del recorrido, así como el número de participantes por recorrido (máximo 15).

4. Una vez organizado el número de estaciones, el recorrido y el número de participantes, es importante realizar una ficha en la cual se anoten los puntos que se tocarán en cada estación (Fig. 72).

5. Establece requisitos y reglas para los participantes.

6. ¡Al campo! Realizar un recorrido de prospección para comprobar la viabilidad de las estaciones, del tiempo y del recorrido. Es importante realizar este recorrido en compañía con otro profesor antes de sacar a los alumnos del aula.

Figura 72. Diseño de estaciones para realizar el recorrido vivencial con enfoque ecosistémico.

Recorrido Educativo de Centinelas del Agua A.C. en los ecosistemas asociados a la Laguna Yalahau y al APFF Yum Balam en la comunidad de Holbox

Objetivo: Promover el conocimiento de los ecosistemas locales y el entendimiento del acuífero a través de un recorrido vivencial con enfoque de educación ambiental y conexión con la naturaleza a través de una visión ecosistémica.

Duración: 4 horas

Número de personas: 15 personas.

El punto de encuentro es en la palapa de la CONANP, o en la institución educativa correspondiente. El grupo se trasportará en bicicletas a punta mosquito guiados por el carro de golf de la CONANP, en donde se llevará un garrafón de agua para los alumnos. Los alumnos tendrán la oportunidad de hacer un monitoreo de aves en grupos de 3 con una guía sencilla de manejo y con la proporción de unos binoculares. La zona elegida fue Punta mosquito. Los ecosistemas que se recorren son el manglar, la duna costera (donde se reconoce su ausencia en la zona hotelera) y la costa donde se visualizan los ecosistemas marinos de los pastos marinos y arrecifes de coral. En donde se promueve la visión ecosistémica, **"El acuífero que nos une, de la cuenca al arrecife".**

Cada alumno llevará su bicicleta personal.

Requisitos:

- Portar ropa cómoda, de preferencia ropa deportiva (tenis, pantalón, playera o blusa de algodón de manga larga, gorra o visera para protegerse del sol.
- Repelente para mosquitos.
- Todo participante deberá ser dado de alta en el seguro escolar previo al recorrido educativo otorgado por Centinelas del Agua A.C.
- Notificar si algún participante es alérgico a cuestiones del medio ambiente (abejas, polen, avispas, etc.).
- Cada estudiante deberá venir desayunado y traer sus alimentos y bebidas en una mochila ligera (Importante.- Bote para rellenar agua).
- Cada grupo deberá ir acompañado de mínimo 1 adulto como responsable, para estudiantes mayores de 13 años. Para estudiantes menores a 13 años se recomienda que sean acompañados por 2 adultos por grupo.

EJEMPLO

XI GLO

Ácido carbónico. (H_2CO_3) El ácido carbónico no existe en estado libre (es simplemente una disolución de anhídrido carbónico en agua), sí puede formar unos compuestos, los carbonatos, sumamente comunes en la naturaleza, ya que la piedra caliza, el mármol, las estalactitas o las conchas de los moluscos están formados por carbonato cálcico.

Acuífero. Es una formación geológica permeable que permite el almacenamiento y la circulación del agua subterránea a través de la matriz de la roca y de sus poros, fracturas y conductos.

Aguas residuales. Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general de cualquier otro uso.

Aguas superficiales. Agua que fluye o se almacena en la superficie de la corteza terrestre en forma de ríos, lagos o embalses artificiales como presas, bordos y canales.

Antropogénico (a). Se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas. Se diferencia de los que tiene causas naturales.

Arrecife. Agrupación de rocas que se encuentran bajo las aguas del mar. Cuando está formado por principalmente por corales se les denomina arrecifes de coral. Un peligro para la navegación cuando está formado por roca consolidada con una profundidad de 20 metros o menos.

Arrecife bordante o costero. Arrecife adherido directamente a la costa por una masa terrestre continental. Su margen externo está sumergido y a menudo consiste de calizas algales, roca coralina y coral vivo.

Arrecife de barrera. Arrecife coralino paralelo a la costa y separado de ella por una laguna muy profunda. Por lo general, los arrecifes de barrera siguen a las costas por largas distancias y son cortadas a través de intervalos irregulares por canales o pases.

Arrecife de coral. Una extensión de corales creciendo sobre una estructura masiva resistente al oleaje, construida principalmente por esqueletos de generaciones sucesivas de corales y otros organismos calcáreos, así como de sedimentos asociados.

Arrecife de plataforma. Arrecife de forma plana y alargada en su parte superior que se debe a la acción de los vientos y las corrientes.

Atolón. Anillos de islas de coral bajo, situado alrededor de una laguna central. Estructura arrecifal comúnmente de coral con talud exterior del orden de 45 a 60° algunas pueden ser vertical.

Biomasa. Cantidad total o peso de materia viva (plantas o animales) en un área dada, generalmente se expresa en peso seco de un organismo, población, o comunidad.

Biodiversidad. Es la variabilidad de organismos vivos de cualquier ecosistema, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres y marinos y otros sistemas acuáticos, y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas.

Calcáreo. Que consiste de, o que tiene calcio o carbonato de calcio. Impregnado con carbonato de calcio.

Carbono azul. Carbono capturado por organismos vivos en ecosistemas costeros (p. ej., manglares, marismas, praderas de pastos marinos) y marinos que se almacena en la biomasa y en los sedimentos.

Cenotes. Geológicamente conocidos como Dolinas, son las cavidades naturales, generalmente

OSA-RIO

de forma circular o semicircular, originadas en la superficie del terreno por el colapso del techo de oquedades subterráneas que se forman en las rocas de carbonato de calcio, por la erosión del agua infiltrada y por la reacción química de la misma sobre los componentes solubles de ese tipo de rocas. Son expresiones características de los paisajes cársticos con la exposición de un depósito natural de aguas del subsuelo y corrientes subterráneas, cuya bóveda en su parte superior puede o no estar directamente expuesta a la superficie del terreno natural de un modo parcial o total.

Cosmogonía. Relato mítico relativo a los orígenes del mundo.

Deciduo. Que tiran sus hojas en una estación determinada del año.

Depresiones kársticas. En áreas en las que las calizas u otras rocas solubles son las dominantes la superficie o el relieve se caracteriza por la diversidad de formas negativas como las depresiones tipo dolina y uvala y positivas como las lomas y montañas kársticas con tamaños que van desde formas milimétricas como los lapiaz hasta los poljes de grandes extensiones.

Dosel. Entramado que supone la disposición espacial de los órganos aéreos de los vegetales superiores.

Duna barjanoide. Forma intermedia entre los barjanes aislados y extensiones de dunas transversales.

Duna longitudinal. Duna alargada y rectilínea formada más o menos paralela al viento predominante la cantidad de arena presente es abundante.

Duna parabólica. Con forma de U, sus extremos apuntan en dirección contraria al viento (al revés que el barján). Típicas de las zonas de costa y donde la vegetación cubre parcialmente la tierra en el interior de la media luna suele formarse una pequeña olla de depresión.

Duna transversal. Largas crestas separadas por depresiones orientadas con ángulos rectos respecto al viento que posee dirección constante. Se dan en lugares donde la acumulación de arena cubre por completo el suelo y ésta es abundante.

Ecosistema. Es el conjunto de especies de un área determinada que interactúan entre ellas y con su ambiente abiótico; mediante procesos como la depredación, el parasitismo, la competencia y la simbiosis, y con su ambiente al desintegrarse y volver a ser parte del ciclo de energía y de nutrientes.

Epífitos. Organismo que vive en la superficie de las plantas vivas.

Erosión. Desgaste del suelo por acción de diversos factores naturales como los vientos (erosión eólica), lluvias (erosión pluvial), ríos (erosión fluvial).

Erosivos. Comprende el conjunto de procesos morfogenéticos por los cuales son tomados y transportados los materiales de un lugar a otro de la superficie terrestre por parte de agentes como aguas corrientes, viento, hielo, oleaje (Ver componente productivo: desertificación).

Escorrentía. Flujo superficial de agua que fluye hacia ríos, lagos o mares sin penetrar en el suelo.

Estromatolitos. Son los organismos vivos más antiguos del planeta. Los estromatolitos son estructuras laminares formadas por microorganismos, principalmente cianobacterias, y Carbonato de Calcio precipitado a causa de la actividad metabólica de estos organismos. Los estromatolitos fueron los grandes fijadores de dióxido de carbono (CO2) a lo largo de la historia evolutiva del planeta. Lo hacen en condiciones extremas de radiación UV y salinidad, y en lugares donde no crecen las plantas.

Estuarinos. Relativo (a), o que se encuentra en un estuario. Los humedales estuarinos contienen una mezcla de agua dulce y marina. Estos sistemas incluyen a los manglares, pantanos salinos y pantanos salobres de marea

Eutrofización. Es el exceso de nutrimentos en el suelo o el agua que perjudica el desarrollo de la vegetación y puede deberse a la aplicación excesiva de fertilizantes químicos.

Fotosíntesis. Es un proceso en el cual los organismos con clorofila, como las plantas verdes, las algas y algunas bacterias, capturan energía en forma de luz y la transforman en energía química. La fotosíntesis se realiza en dos etapas: una serie de reacciones que dependen de la luz y son independientes de la temperatura, y otra serie que dependen de la temperatura y son independientes de la luz.

Follaje. Conjunto de hojas y ramas de árboles y plantas.

Geo-formas. Unidad componente de los tipos de relieve, que constituye la expresión de un equilibrio dinámico de fuerzas morfogenéticas de naturalezas múltiple, en perfecta evolución en el tiempo.

Geomorfología. Ciencia geológico-geográfica que estudia las formas de la superficie terrestre (el relieve), incluso las que se encuentran cubiertas por el agua del océano, lagos, ríos y glaciares.

Gorgonáceos. Son una orden de coral, es de los más abundantes y vistosos de los arrecifes coralinos en el Caribe, Estos no contribuyen a la formación del arrecife pero habitan en ellos.

Hábitat. Se entiende el lugar o tipo de ambiente en el que existen naturalmente un organismo o una población.

Hidrodinámica. Rama de la hidráulica que estudia las presiones originadas por la turbulencia del agua y su flujo por canales, conductos, tuberías y otros medios. Perteneciente al movimiento y acciones del agua, las olas o las mareas

Intrusión salina. Mezcla del agua salada con agua dulce de un cuerpo de agua. Esto puede ocurrir tanto en los cuerpos de agua superficiales como en los subterráneos; si el agua salada viene de los océanos se le puede llamar intrusión del agua oceánica.

Kárstico. Calificativo del modelado peculiar del relieve que se origina como resultado de la disolución de roca caliza.

Laguna costera. Depresión somera semiaislada de las aguas costeras por barreras de arena. Son comunes en planicies costeras de poca pendiente y con depositación activa y están restringidas donde los intervalos de marea son menores de 4 metros.

Litoral. Zona de los mares y océanos que comprende las aguas y fondos marinos desde la costa hasta unos 200 m de profundidad, caracterizada por la presencia de luz y fondos de suave pendiente.

Macroalgas Algas. Que se ven a simple vista, son multicelulares y tienen distintos colores (rojo, verde, café) y formas (filamentosas, filiformes, acolchadas, ciliadas).

Materia orgánica. Se refiere al porcentaje del material de origen animal o vegetal que este descompuesto o parcialmente descompuesto y sin descomposición.

Nivel freático. Es la capa superficial

de una masa de agua que llena los espacios porosos de una masa de roca.

Nutriente. Compuesto orgánicos, inorgánicos o iones, que requieren los productores primarios para la producción orgánica.

Permeabilidad. Es la capacidad que tiene un material de permitirle a un fluido que lo atraviese sin alterar su composición. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable o no permeable si la cantidad de fluido es despreciable.

Playa. Área del litoral que recibe directamente el efecto del oleaje, que deposita arenas y/o cantos.

Pólipos. En zoología, es un animal invertebrado marino, que posee tentáculos y vive sujeto al fondo del mar o a las rocas como las anémonas y los corales.

Producción Primaria. Producción que ocurre mediante la fotosíntesis, por medio del cual las plantas verdes convierten energía solar, dióxido de carbón, y agua en glucosa y tejido vegetal. Además, algunas bacterias en el mar profundo pueden convertir energía química en biomasa mediante quimiosíntesis. Se refiere a la cantidad de material producido por unidad de tiempo.

Roca madre. O roca consolidada Es el conjunto de rocas antiguas de grandes dimensiones que dio origen al suelo, generalmente bastante alterada y con cristales muy diminutos e imperceptibles a simple vista, sobre esta yacen las rocas sedimentarias formadas más recientemente.

Sedimentación. Asiento o acumulación de sedimentos producto del proceso de deposición de los materiales residuales transportados por los ríos, hielo, viento y mar.

Sedimento. Acumulación en el piso oceánico de partículas de materia no consolidada de origen biógeno, terrígeno, auto-genético y cósmico.

Sedimentos. Material fragmentario originado por la erosión y/o alteración de las rocas preexistentes susceptible de ser transportado y depositado en los fondos marinos, fondos lacustres y depresiones continentales.

Senescente. Relativo a que comienza a envejecer.

Servicios ecosistémicos. Los beneficios tangibles e intangibles generados por los ecosistemas, necesarios para la supervivencia del sistema natural y biológico en su conjunto y para que proporcionen beneficios al ser humano.

Simbiosis. Asociación íntima de organismos de especies diferentes para beneficiarse mutuamente en su desarrollo vital.

Sotobosque. Estrato o capa inferior del bosque, compuesto por plantas herbáceas de escasa altura.

Topografía. Disciplina que ocupa de los métodos de cartografía para la representación de la superficie terrestre, total o en porciones, en cualquier escala en un mapa.

Tsunami. Ola marina de gran magnitud producida por la liberación de una gran cantidad de energía en el océano. Estas olas pueden recorrer grandes distancias y tener varios metros de altura.

Turbulencia. Movimientos desordenados del agua compuestos por pequeños remolinos que se trasladan en las corrientes de agua. La turbulencia marina es producida por agua en un estado de cambio continuo. Pude ser causada por las corrientes termales, por diferencias en el terreno y en la velocidad del viento

Zootanxelas. algas simbióticas presentes en los corales hermatípicos que participan en la calcificación del exoesqueleto mediante una contribución de energía a través del proceso de fotosíntesis.

XII BIBLIOGRAFÍA

12.1 Educación Ambiental: Conceptos y Enfoques

- Caride, J. A. 2000. Educación ambiental y desarrollo humano: Nuevas perspectivas conceptuales y estratégicas. Conferencia dictada en el III Congreso Iberoamericano de Educación Ambiental. Caracas, Venezuela.
- González, G.E. 1994. Elementos estratégicos para la educación ambiental en México. Secretaría de Desarrollo Social, Instituto Nacional de Ecología, México.
- Gutiérrez, F., Prado, C. 2015. Ecopedagogía y ciudadanía planetaria. Ciudad de México: De La Salle Editores Kolb, D. A. 1984. Experiential learning: Experience as the source of learning and development. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Luna, N. C., Molero, D. 2013. Revisión teórica sobre el autoconcepto y su importancia en la adolescencia. Revista Electrónica de Investigación y Docencia (REID), (10).
- Markaki, V. 2014. Environmental Education through Inquiry and Technology. Science Education International, 25(1), 86-92 Martínez, R. 2007. Aspectos políticos de la educación ambiental. Revista Electrónica Actualidades Investigativas en Educación (INIE), Vol. 7(3), 1-25.
- Siqueira, A. B. 2012. Etnobiología en la educación básica. Revista de educación en biología, 15(2), 12-19.
- Soëtard, M. 1999. El método Pestalozzi. Perspectivas: revista trimestral de educación comparada. Vol. XXIV (1-2), 299-313.
- Valkanos, E., Fragoulis, I. 2007. Experiential learning-its place in in-house education and training. Development and Learning in Organizations: An International Journal, 21(5), 21-23.

12.2 Visión ecosistémica de la Península de Yucatán

- Herrera-Silveira J., Comín S. y Capurro L.. (2005). Los usos y abusos de la zona costera de la península de Yucatán. Casos de estudio, CINESTAV, 388-396.
- Herrera Silveira, J. y Cortés Balam O. 2007. Entre la Tierra y el mar, las lagunas costeras de Yucatán. CONABIO. Biodiversitas. Vol. 72. 6-10.
- Tierra Maya. (2020). Península de Yucatán. Obtenido el 01 de Junio de 2020, de Maya Sitio web: https://tierrasmayas.com peninsula-de-yucatan/

12.3 El acuífero nuestra única fuente de agua dulce

- UNESCO. 2020. El agua subterránea en un medio ambiente cambiante. Consultado el 17 de abril de 2020, de: https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/agua-subterranea.
- Comisión Nacional del Agua, 2018. Estadisticas del Agua en México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua. México, 306 pp.

- Bauer-Gottwein, P., Gondwe, B.R.N., Charvet, G. et al. 2011. Review: The Yucatán Peninsula karst aquifer, Mexico. Hydrogeol J 19, 507–524. https://doi.org/10.1007/s10040-010-0699-5
- Amigos de Sian Ka'an, A.C. 2016. Cuaderno didáctico para maestros y educadores ambientales Eres Agua, ¡Toma Conciencia!. México, 68 pp.
- Waller, R.M., 1994. Ground Water and the Rural Homeowner. USGS, USA, 38 pp.
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., Elia, M., Paris, M. 2003. Protección de la calidad del agua subterránea. Banco Mundial. 127pp.
- Faust, B. B., Folan, W. J. (Eds.). 2016. Pasos largos al futuro: la resiliencia socio-ecológica de los Mayas de Campeche en relación a los cambios climáticos. Publicaciones de la Universidad Autónoma de Campeche.
- Custodio Gimena, E. 2010. Las aguas subterráneas como elemento básico de la existencia de numerosos humedales. Ingeniería del agua, 17(2), 119-135.
- Torruco, D., González, A. 2010.Estado actual de los corales. Durán,R., Méndez, M. (Eds). En: Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 496 pp.

12.4 Selva

- Alcaraz, F.J. 2012. Selvas Ecuatoriales y Tropicales. Creative Commons. España. 125.
- Citas de referencias electrónicas: CONABIO. 2019. Selva Seca. Consultado el 18 de Abril de 2020, de: https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/selvaSeca.
- CONAFOR. 2010. Servicios Ambientales y cambio climático. Ciudad de México: Inventario Nacional Forestal y de Suelos.
- CONANP. 2018. Programa de manejo: Área de Protección de flora y fauna Yum Balam.
- INEGI. (15 de Abril de 2011). Información territorial por entidad: Quintana Roo. Obtenido de http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/territorio/clima.aspx?tema=m e&e=23
- Marion Singer, M. 2004. Bajo la sombra de la gran ceiba: La cosmovisión de los Lacandones. Saberes, 45.
- Olmsted, I. y R. Durán G. 1986. Aspectos Ecológicos de la Selva Baja Inundable de la Reserva de la Biosfera de Sian ka´an, Quintana Roo, México. Biótica 11. 151-179.
- Peña, E. (18 de Abril de 2017). Tierras Mayas. Obtenido de El jaguar, simbolo de poder para los mayas: https://tierrasmayas.com/jaguar-simbolo-poder/
- Sthil, A. (2008). La Selva tropical: Datos de un ecosistema en peligro. Alemania: Wailbingen.

12.5 Manglar

- CCA. 2016. Carbono azul en América del Norte: evaluación de la distribución de los lechos de pasto marino, marismas y manglares, y su papel como sumideros de carbono, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, 58 pp.
- CONABIO. (15 de Enero de 2020). Biodiversidad Mexicana. Obtenido de Manglares:https://www.biodiversidad gob.mx/ecosistemas/manglares
- Diaz Gaxiola, J. M. 2011. Revisión sobre los manglares: Características, problemáticas y su marco jurídico. Ra Ximba. vol.7. 355-369.
- Flores-Verdugo, F.J.; C.M. Agraz-Hernández, D. Benitez-Pardo. 2007. Ecosistemas acuáticos costeros: impo tancia, retos y prioridades para su conservación. En: Óscar Sánchez, Mónica Herzig, Eduardo Peters, Roberto Márquez-Huitzil y Luis Zambrano. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Instituto Nacional de Ecología. 297 p.
- Fueyo Mac Donald, L. y Galindo-Leal, C. 2013. Manglares de México/ Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F. 128 pp.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, LL., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J. and Duke, N. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data Global Ecology and Biogeography 20(1):154-159.
- Herrera-Silveira, J.A., Mendoza-Martínez, J.E., Pérez-Martínez, O., Solís, S., García, A., Pech, E., Caamal, J., Rosette, M. 2018. Almacenes de carbono en manglar y pastos marinos del área de protección de flora y fauna reserva de Yum Balam. Informe Técnico Final. PMC-CINVESTAV-CEMDA.
- López-Portillo, J. y Ezcurra, E. 2002. Los manglares de México: una revisión. Madera y Bosques, Número especial, 27-51.
- Riosmena-Rodríguez, R., J. López-Calderón, P. Herrera. 2015. Diagnóstico y monitoreo de los manglares respecto a sus servicios ambientales en el ÁPFF Yum Balam. AICMMARH AC. Programa para la Conservación de Especies en Riesgo, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp). 82p.
- Rivera-Arriaga, E., I. Azuz-Adeath, O. D. Cervantes Rosas, A. Espinoza-Tenorio, R. Silva Casarín, A. OrtegaRubio, A. V. Botello y B. E. Vega-Serratos. 2020. Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre. Una Guía para Tomadores de Decisiones. Universidad Autónoma de Campeche, ricomar. 894 p.

- Rodríguez-Zúñiga, M.T., Troche-Souza C., Vázquez-Lule, A. D., Márquez-Mendoza, J. D., Vázquez-Balderas, B., Valderrama-Landeros, L., Velázquez Salazar, S., Cruz López, M. I., Ressl, R., Uribe Martínez, A., Cerdeira-Estrada, S., Acosta Velázquez, J., Díaz-Gallegos, J., Jiménez-Rosenberg, R., Polidoro, B.A., Carpenter, KE, Collins, L., Duke. N.C., Ellison, A.M., Ellison, J.C., Farnsworth, E.J., Fernando, E.S., Kathiresan, K., Koedam, N.E., Livingstone, S.R., Miyagi, T., Moore, G.E., Nam, V.N., Ong, J.E., Primavera, J.H., Salmo III, S.G., Sanciangco, J.C., Sukardjo, S., Wang, Y. y Wan Hong Yong, J. 2010. The loss of species: mangrove extinción risk and geographic area of global concern. ONE 5(4). 1095.
- Spalding, M., Kainuma, M. y Collins, L. 2010. World Atlas of Mangroves. (London, UK and Washington, DC, USA: Earthscan).
- Tomlinson, P. B. 1986. The Botany of Mangroves. Cambridge Tropical Biology Series. (Cambridge: Cambridge University Press).

12.6 Dunas costeras

- Alcamo, J., et al. 2003. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment Washington, D.C., USA, Island Press. 245 pp. ISBN: 1-55963-403-0.
- Diario Oficial de la Federación. 2018. Acuerdo por el que se da a conocer el resumen del programa de manejo del área natural protegida con categoría de área de protección de Flora y Fauna Yum Balam http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5540179&fecha=05/10/2018
- Espejel I., Jiménez O., Castillo-C. et al 2017. Flora en playas y dunas costeras de México. Acta botánica mexicana, (121), 39-81. https://dx.doi.org/10.21829/abm121.2017.1290
- Jiménez-Orocio et al., 2014. Diagnóstico general de las Dunas Costeras de México, Comisión Nacional Forestal, México, D.F. 27-48 pp.
- Luna-Erreguerena, P. 2002. Mexico: A country with a rich underwater legacy. International Handbook of Underwater Archaeology, 269 pp.
- Martínez M., Lithgow D et al. 2016. Experiencias Mexicanas en la restauración de los ecosistemas CONABIO, UNAM CRIM, UAEM. 409-432 pp.
- Martínez, M. L., Psuty, et al. 2004. Coastal dunes. Springer Verlag.
- Martínez, M. L., Psuty, et al. 2008. A perspective on coastal dunes. In Coastal dunes. Springer, Berlin, Heidelberg. 3-10 pp.
- Moreno-Casasola, P. 1986. “Sand movement as a factor in the distribution of plant communities in a coastal dune system”. Vegetation. 65: 67-76 pp. https://doi.org/10.1007/BF00044876
- Moreno-Casasola P., Peresbarbosa E. 2006. Estrategia para el manejo costero integral: el enfoque municipal, Travieso-Bello, A.C (Eds). Instituto de Ecología, A.C., CONANP y Gobierno de Veracruz-Llave., Xalapa. México. 124-149 pp.
- Pedroza, D., A. Cid, et al.2013. Manejo de ecosistemas de dunas costeras, criterios ecológicos y estrategias. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., México. 97 pp.
- Ranwell, D.S. y Boar, R. 1995. Coastal dune management guide. Reminder Press, UK
- San Martín, F. 1992. A mycofloristic and cultural study of the Xylariaceae of Mexico. Ph.D. Thesis. Washington State University, Pullman, Washington DC, USA. 560 pp.

12.7 Pastos marinos

- CCA. 2016. Carbono azul en América del Norte: evaluación de la distribución de los lechos de pasto marino, marismas y manglares, y su papel como sumideros de carbono, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, 58 pp.
- CONABIO. 2019. Praderas de pastos marinos. Consultado el 15 de abril de 2020, de: https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/praderasPastos.
- Wyllie-Echeverria, S. 2003. Cultural Value of the Seagrass Flora: A global story of diverse use over time. Consultado el 15 de abril de 2020, de: https://ethnobiology.org/cultural-value-seagrass-flora-global tory-diverse-use-over-tim
- Espinoza-Avalos, J. 1996. Distribution of seagrasses in the Yucatan Peninsula, Mexico. Bulletin of marine science, 59(2), 449-454.
- Herrera-Silveira, J.A., Mendoza-Martínez, J.E., Pérez-Martínez, O., Solís, S., García, A., Pech, E., Caamal, J., Rosette, M. 2018. ALMACENES DE CARBONO EN MANGLAR Y PASTOS MARINOS DEL ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA RESERVA DE YUM BALAM. Informe Técnico Final. PMC-CINVESTAVCEMDA.
- Marbà, N., Duarte, C.M., Alexandra, A., Cabaço, S. 2004. How do seagrasses grow and spread. European seagrasses: an introduction to monitoring and management. pp. 11.
- McKenzie, L.J., Campbell, S.J., Roder, C.A. 2003. Seagrass-Watch: Manual for Mapping & Monitoring Seagrass Resources by Community (citizen) volunteers. (DPI&F, NFC, Cairns) 100 pp.
- McKenzie, L.J., Yoshida, R., Mellors, J. 2008.

Seagrass-Watch activity book. Seagrass-Watch HQ, Cairns. 24pp.

Romeu, E. 1996. Pastos marinos una cuna para la biodiversidad. CONABIO, Biodiversitas, 5:10-14.

Short, F. T., Moore, G. 2007. The status of eelgrass in James Bay: An assessment of Hydro-Quebec data regarding eelgrass in James Bay, experimental studies on the effects of reduced salinity on eelgrass, and establishment of James Bay environment monitoring by the Cree Nation, informe presentado a la comunidad cree de Chisasibi, Universidad de Nuevo Hampshire, Durham.

Short, F.T., Coles, R.G., Pergent-Martini, C. 2001. Global seagrass distribution. En: Short, F.T., Coles R.G. (Eds.), Global Seagrass Research Methods. Elsevier Science B.V., Amsterdam. 473 pp.

Spalding, M., M. Taylor, C. Ravilious, F. Short, and E. Green. 2003. Global overview: the distribution and status of seagrasses. World Atlas of Seagrasses. University of California Press, Berkeley, USA. 526 pp.

12.8 Arrecifes

AIDA. 2014. La protección de los arrecifes de coral en México- 7 pp.-

Almada Villela, P.C., P.F. et al 2003. Manual de métodos para el Programa de Monitoreo Sinóptico del SAM. Sistema Arrecifal Mesoamericano, Coastal Resources Multi-complex Building. Belice. 158 pp.

Burke, L., & Maidens, J. 2005. Arrecifes en peligro en el Caribe Reef at risk in the caribbean (No. 333.9553 B959). World Resources Institute, Washington, DC. EUA. Burke, L., Reytar, et al. 2011. Reefs at risk. World Resources Institute, Washington, DC, EUA. 124 pp.

Chávez 1994. Los recursos marinos de la Península de Yucatán. In Recursos Faunísticos del Litoral de la Península de Yucatán, ed. A. Yáñez-Arancibia. Universidad Autónoma de Campeche. México. EPOMEX Serie Científica, 2. 1-12 pp

Diario Oficial de la Federación. 2018. Acuerdo por el que se da a conocer el resumen del programa de manejo del área natural protegida con categoría de área de protección de Flora y Fauna Yum Balam. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5540179&fecha=05/10/2018

Done TJ 2011a. Corals reefs definition. In Hopley DJ (ed) Encyclopedia of modern coral reefs. Springer, Dordrecht. 262–267 pp.

Done TJ 2011b. Corals–Environmental controls on growth. In: Hopley DJ (ed) Encyclopedia of modern coral reefs. Springer, Dordrech.281–293 pp.

Goleman D., (2009). Inteligencia Ecológica. Buenos Aires: Vergara.

Healthy Reefs Initiative. 2010. Report card for the Mesoamerican Reef. Smithsonian Institution, Washington, DC.

Fernandez Mendiola P. 1989. Arrecifes KOBIE 18. Bilbao, España. 9 pp

Fenical, W. 1996. Marine biodiversity and the medicine cabinet: the status of new drugs from marine organisms. Oceanography. 23-27 pp.

Kramer, P. A, P. R. Kramer. 2002. Ecoregional Conservation Planning for the Mesoamerican Caribbean Reef. World Wildlife Fund, Washington, D.C. 140 pp.

Margales, R. 1974. Ecología. Omega. Barcelona, España. 951 pp.

Mcfield M. Kramer P.et al. 2020 Mesoamerican Reef Report Card.

Pedroza, D., Cid, A. et al. 2013. Manejo de ecosistemas de dunas costeras, criterios ecológicos y estrategias. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, DF, México.

RAMSAR. 2015. ficha informativa, Arrecifes de coral: Humedales esenciales en grave peligro.

Ruiz-Zarate, M. A., Hernandez-Landa, R. C. et al.2003. Mexico. Condition of Coral Reef Ecosystems in CentralSouthern Quintana Roo, Mexico

Spalding, M., Ravilious, C. et al. 2001. World atlas of coral reefs. Univ. of California Press.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2019. Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam. CYCY. Yucatán. México

Seingier, G., Espejel, I.et al. 2009. Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. Investigación ambiental, 1(1). 54-69 pp.

Yetter, J.C. 2004. Hydrology and geochemistry of freshwater wetlands and the gulf coast of Veracruz, México, University of Waterloo, Ontario, Canada. 168 pp.

Centinelas del Agua A.C.

MAR FUND

FONDO MEXICANO PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA, A.C.
FMCN
INSTITUCIÓN PRIVADA

GETECCA
GRUPO ESPECIALIZADO DE TRABAJO EN EDUCACIÓN, COMUNICACIÓN Y CULTURA DEL AGUA
Quintana Roo

CCPY
Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán

SANCVS FOUNDATION

THE SUMMIT FOUNDATION

Centinelas del Agua A.C.

La Península de Yucatán es una región con una gran diversidad biológica con ecosistemas característicos de zonas tropicales, los cuales se encuentran conectados por un maravilloso acuífero kárstico que descarga su agua subterránea en el **Sistema Arrecifal Mesoamericano del Mar Caribe y en el Golfo de México.** El poder comprender la vulnerabilidad de los ecosistemas, la importancia y los servicios ambientales que nos brindan cada uno de esos ecosistemas nos acercará hacia la generación de una conciencia colectiva ambiental a todos y todas los que habitamos y visitamos la **Península de Yucatán.**

ISBN: 978-607-99549-0-1
9 786079 954901