



# ESCUELA CARBONO NEUTRO

Línea base de la División Académica de Ciencias Biológicas

Compiladores:

Rosa Martha Padrón López  
Lilia María Gama Campillo

Gabriel Núñez Nogueira  
Fernando Rodríguez Quevedo



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

# ESCUELA CARBONO NEUTRO

Línea base de la División Académica  
de Ciencias Biológicas

Rosa Martha Padrón López  
Lilia María Gama Campillo  
Gabriel Núñez Nogueira  
Fernando Rodríguez Quevedo  
**COMPILADORES**



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

Guillermo Narváz Osorio  
**Rector**

Arturo Garrido Mora  
**División Académica de Ciencias Biológicas**

# ESCUELA CARBONO NEUTRO

Línea base de la División Académica  
de Ciencias Biológicas

**C O L E C C I Ó N**  
**J O S É N . R O V I R O S A**  
*Biodiversidad, desarrollo sustentable y trópico húmedo*

Primera edición, 2021

© Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
www.ujat.mx

ISBN: 978-607-606-564-8

Para su publicación esta obra ha sido dictaminada por el sistema académico de pares ciegos. Los juicios expresados son responsabilidad del autor o autores y fue aprobada para su publicación.

Queda prohibida la reproducción parcial o total del contenido de la presente obra, sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito del titular, en términos de la Ley Federal de Derechos de Autor

Maquetación: Walk Iria Chi Balan.

Diseño de portada: Walk Iria Chi Balan.

Fotografía de portada: Juan Manuel Koller González.

Hecho en Villahermosa, Tabasco, México

# ÍNDICE

<b>Prefacio</b> <i>Xavier Moya García</i>	009
<b>Capítulo 1</b> <b>Carbono neutro: hacia una escuela ambientalmente responsable</b> <i>Gabriel Núñez Nogueira, Lilia María Gama Campillo, Rosa Martha Padrón López y Fernando Rodríguez Quevedo</i>	013
<b>Capítulo 2</b> <b>Emisiones de CO<sub>2</sub>eq debidas a fuentes móviles</b> <i>Elizabeth Magaña Villegas, Jesús Manuel Carrera Velueta, Jhoany Hernández Torales, Irving Iván Salvador Torres y Jhonnatan del Jesús García Ricardez</i>	022
<b>Capítulo 3</b> <b>Emisiones de Gases de Efecto Invernadero derivadas del consumo de energía eléctrica</b> <i>Liliana Pampillón González, Mauricio Pérez Morales, José Arturo Rodríguez Morales, Oscar Silván Hernández y Gaspar López Ocaña</i>	054

<b>Capítulo 4</b> <b><i>Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a partir de las aguas residuales crudas y provenientes de las plantas de tratamiento</i></b>	
<i>Gaspar López Ocaña, Liliana Pampillón González, Carlos Alberto Torres Balcázar, Alma Cristhel Gómez Rodríguez, Izmary Cruz Alegría, Lesly Yarenci Broque Alvarado, Nury Francisca Magaña Hernández y Jesús Alfredo García Ocaña</i>	088

<b>Capítulo 5</b> <b><i>Diagnóstico de emisiones de CO<sub>2</sub>eq en el Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos</i></b>	
<i>José Aurelio Sosa Olivier, José Ramón Laines Canepa, Guadalupe Hernández Gerónimo e Israel Ávila Lázaro</i>	133

<b>Capítulo 6</b> <b><i>Caracterización de suelo en el Jardín Botánico José Narciso Rovirosa y el Tintal</i></b>	
<i>Karla Cristel Cámara Moguel y Wendy Viridiana Velázquez Vázquez</i>	156

<b>Capítulo 7</b> <b><i>Macroinvertebrados acuáticos, peces y aves distribuidos en sitios con diferentes asociaciones vegetales</i></b>	
<i>Mórvila Cruz Ascencio, Juan Manuel Koller González, Guadalupe Lara de la Cruz y María Guadalupe Arias Jiménez</i>	176

<b>Capítulo 8</b> <b>Caracterización de las comunidades vegetales asociadas a un humedal tropical urbano en Tabasco, México</b>	214
<i>Alma Deysi Anacleto Rosas, Diana López Pérez, Nelly del Carmen Jiménez Pérez, Jesús Manuel Ascencio Rivera y Ofelia Castillo Acosta</i>	

<b>Capítulo 9</b> <b>Estimación de captura de carbono mediante el uso de ecuaciones alométricas en dos áreas arbóreas</b>	262
<i>José Ángel Gaspar Génico, Alma Deysi Anacleto Rosas, Mórville Cruz Ascencio, Diana López Pérez y Ofelia Castillo Acosta</i>	

<b>Compiladores</b>	287
---------------------	-----



## PREFACIO

En los últimos años, la humanidad ha experimentado cambios en las formas en cómo se desarrolla y convive con el entorno. Estos procesos de cambio, han generado, impactos significativos en el uso de recursos naturales y en la transformación de los medios de vida.

Además, las repercusiones de los modelos de desarrollo basados en prácticas insostenibles, y en la explotación de recursos naturales, ha tenido consecuencias como el grave deterioro de los ecosistemas. En este sentido, las evidencias científicas muestran la ocurrencia de cambios en la temperatura a nivel mundial que han generado efectos en la intensidad de los fenómenos de origen natural, el aumento de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y el cambio climático como consecuencia del deterioro de los ecosistemas.

Las consecuencias del deterioro de los ecosistemas trascienden lo ambiental; generando afectaciones en las demás esferas del desarrollo como la salud, la educación, el ordenamiento territorial y desarrollo urbano, el desarrollo económico y el desarrollo social, entre otros. Es por esto que los esfuerzos globales de los países que forman parte del Sistema de Naciones Unidas (ONU), se han encaminado a establecer una serie de políticas y estrategias que permitan hacerle frente a las crisis globales, como son los Objetivos para el Desarrollo Sostenible 2030 (ODS), que buscan mejorar las condiciones de vida de las personas a través de sus 17 componentes.

Sin embargo, los retos que el mundo enfrentará en los próximos años, serán aún mayores para los países con altas condiciones de vulnerabilidad y pobreza de capacidades. Provocando que los impactos negativos de los efectos del cambio climático sean diferenciados debido a la desigualdad social, política y económica preexistente en los territorios.

Todo lo anterior vuelve necesario y urgente que los gobiernos, generen planes, que involucren a diversos sectores, actores e instituciones de forma intersectorial y con un enfoque de gobernanza climática. Estas, deben ser acciones concretas que se enfoquen en generar cambios significativos en los modelos de producción; en las estructuras de distribución de los recursos y los ingresos al interior de los países y en el sistema internacional; en la creación de bases más amplias para la participación política de las personas que fortalezcan las democracias y las estructuras de oportunidades y en la transformación de sistemas educativos, que incidan en formar ciudadanos más conscientes de su entorno y en la transformación de ciudades más resilientes y sostenibles. Estos como algunos de los posibles rumbos de acción ineludibles y que ya se encuentran en la agenda internacional.

A modo de acciones concretas, en algunos países se observan esfuerzos para transitar hacia una economía con bajos niveles de carbono; esfuerzos que son una condición necesaria para disminuir los gases de efecto invernadero. Pero para avanzar verdaderamente en estas agendas, es imprescindible que los tomadores de decisión desempeñen una función crucial en cuanto a fijar normas regulatorias, así como, fortalecer capacidades en materia de investigación aplicada, desarrollo de tecnología y transferencia de conocimientos que permitan hacer frente a los grandes retos climáticos de la humanidad.

La presente publicación ha sido desarrollada con la participación de diversas instituciones académicas, a saber: la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), a través de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol), el Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra (ITSS), la Universidad Autónoma de Guadalajara (UAG) e instituciones gubernamentales del estado de Tabasco.

Cada una de estas instituciones, contribuyen a la generación de conocimiento a través de la ciencia e investigación, con el objetivo de impactar en la disminución de las problemáticas y desafíos del cambio climático y, al mismo tiempo, incrementar las potenciales soluciones que disminuyan los Gases del Efecto Invernadero (GEI). Un ejemplo de estas prácticas es el «Programa Carbono Neutro» para la DACBiol de la UJAT, con impactos en la zona metropolitana de Tabasco, el cual es una propuesta que permite generar acciones de mitigación, adaptación y el uso y aprovechamiento de recursos a favor del cuidado ambiental.

Finalmente, reconocemos el esfuerzo de las y los investigadores que participaron en esta publicación. Específicamente, el Programa de las Naciones Unidas para el

Desarrollo (PNUD), al participar en este documento, pretende contribuir a la discusión para encontrar soluciones ante los retos del cambio climático y de la reducción de los GEI en un contexto particular; con miras a alcanzar un desarrollo más equitativo, seguro y sostenible para todos y todas.

**Mtro. Xavier Moya García**

Coordinador del Programa de Apoyo para la Reducción de Riesgos de Desastres en México, del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

## Capítulo 1

# **CARBONO NEUTRO: HACIA UNA ESCUELA AMBIENTALMENTE RESPONSABLE**

Gabriel Núñez Nogueira  
Rosa Martha Padrón López  
Fernando Rodríguez Quevedo  
Lilia María Gama Campillo<sup>1</sup>

Uno de los desafíos más urgentes reconocidos por las instituciones de educación superior, además de generar sensibilidad al tema, es el compromiso y participación activa en la reducción de los impactos que los seres humanos generamos al ambiente, como lo es la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y el cambio climático que, tanto a escala regional y global, pronostican importantes afectaciones hacia el ambiente, los recursos naturales y la sustentabilidad humana.

Con la Declaración de Talloires en 1993, surge la iniciativa en la conformación de una Asociación de Universidades Líderes cuya finalidad era la sustentabilidad, mediante la participación de instituciones académicas a nivel mundial, que compartieran responsabilidades sociales, con un claro interés de liderazgo en el tema del adecuado uso y aprovechamiento de los recursos naturales desde un enfoque sustentable (ULSF, 2018).

---

<sup>1</sup>Coordinadora del Programa de Acción de la DACBioI; División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Correo electrónico: lilia.gama@ujat.mx

Actualmente, como resultado de las afectaciones a nuestro planeta, asociado a las emisiones atmosféricas de GEI, esfuerzos multinacionales y multinacionales buscan mantener un balance en sus emisiones, que permitan en un futuro reducir los escenarios adversos ambientales, o en lo posible, evitarlos. El término «Carbono neutro», surge como resultado de la estrategia de establecer un balance entre las acciones y actividades que generan emisiones de carbono, con las estrategias mitigantes, de captura o reductoras de emisiones que, como resultado de diagnósticos y monitoreos de dichas emisiones, permitirán alcanzar un equilibrio o «neutralidad» en las emisiones de carbono en un periodo determinado.

Diferentes sectores como es el caso del privado promovieron el establecimiento de un protocolo de carbono neutro en 2002, que ha estado sujeto a evaluaciones anuales para su cumplimiento bajo los estándares internacionales y certificaciones respectivas (Natural Capital Partners, 2018).

En general, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente promueve acciones globales para descarbonizar nuestras economías y sociedades. La iniciativa involucra a universidades, colegios y otras instituciones académicas de todo el mundo, para transformarse en tener un futuro de cero emisiones. En general el nivel académico se inició fortaleciendo los esfuerzos que estaban coordinados bajo las metas nacionales y compromisos internacionales de cada nación o institución (ULSF, 2018). Sin embargo, se ha identificado universidades que como institución o en redes universitarias muestran su compromiso independientemente de los nacionales para desarrollar y fomentar una cultura sustentable.

La División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol), como base fundamental de los campos educativos de su competencia (Biología, Agua, Ingeniería Ambiental y Gestión Ambiental), ha promovido el desarrollo e implementado estrategias de sustentabilidad ambiental mediante la formación de capital humano, vinculando los sectores sociales con la academia, en un claro compromiso social. Con estas acciones se fortalecen la construcción de una universidad ambiental y globalmente responsable. Programas como «Juchiman, verde y oro» iniciado en 2002 y asociado al Consorcio Mexicano de Programas Ambientales Universitarios para el Desarrollo Sustentable (COMPLEXUS) y la adhesión al compromiso de la «Carta de la Tierra» en 2008, son claros ejemplos del interés existente por la conservación del ambiente en nuestra institución.

Asimismo, como parte de su compromiso con la protección y conservación ambiental, busca no solo contribuir a la disminución de los GEI, sino a generar sumideros de captación de carbono mediante la protección y conservación de las zonas verdes, así como servir de punto de partida, para la sensibilización e implementación social de un mayor número de proyectos y estrategias de disminución de los impactos adversos que generamos hacia nuestro planeta y particularmente en la región.

Como resultado de ese compromiso, la DACBiol ha establecido un programa de acción proponiendo diversas estrategias de mitigación, mediante la elaboración de un diagnóstico de fuentes generadoras de posibles GEI, tanto por la generación y manejo de residuos como las asociadas al consumo y uso de agua, energía eléctrica, emisiones por fuentes

móviles. Además, se dio a la tarea de cuantificar las condiciones y biodiversidad de las zonas de conservación presentes en el campus de la División Académica, para evaluar su capacidad de captura y almacenamiento de las emisiones generadas, para promover y fortalecer su conservación (Programa de Acción Escuela Carbono Neutro, 2018), mediante la participación importante de alumnos y académicos de la propia División. Dicho programa forma parte del Plan de Desarrollo Divisional 2015-2019, lo que permite fortalecer el compromiso tan importante para la región sureste del país, contribuyendo con los compromisos internacionales como por ejemplo los que se derivan de la COP21 en 2012, hacia la reducción de emisiones para el año 2050 (DCNC, 2017) y a nivel institucional con el Plan de Desarrollo Institucional 2016-2020.

La presente obra compila los trabajos de línea base realizados como compromiso de neutralidad y que generaron el diagnóstico que se guarda respecto a la cantidad de emisiones de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) actuales (2017) y su relación con los diferentes aspectos de las actividades que tienen lugar en la zona, gracias a los cuales se pudieron establecer diversos objetivos y estrategias, en apego a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas y del Plan de Desarrollo Institucional 2016-2020 de nuestra universidad, bajo los principios de sustentabilidad.

La elaboración del Programa Carbono Neutro se dividió en tres etapas: planeación, diagnóstico y elaboración. La primera etapa consistió en la definición de los temas que se consideran de interés ambiental en nuestra División, dentro de los cuales algunos contaban con información previa por ser programas ambientales en marcha, como son la disposición de residuos y

el consumo de agua. El diagnóstico involucró la participación de 28 investigadores de la División; estudiantes de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA), del Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra (ITSS) y de la Universidad Autónoma de Guadalajara (UAG); junto con el apoyo técnico de la Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección al Ambiente (SERNAPAM) del Estado de Tabasco.

Finalmente, para la evaluación de Gases de Efecto Invernadero los diagnósticos se constituyeron y dividieron de la siguiente manera:

### **Capítulo 2:**

**Emisiones de CO<sub>2</sub>eq debidas a fuentes móviles.** Analiza las emisiones de GEI, derivadas de aquellas fuentes móviles que circulan dentro de la institución, durante un período determinado, con objeto de poder definir estrategias a nivel institucional para su mitigación. Este estudio consideró períodos académicos específicos que incluyeron entre otros aspectos, un censo vehicular y los cálculos de cantidades de bióxido de carbono equivalentes (CO<sub>2</sub>eq) emitidas por los vehículos que circulaban por la División Académica identificándose al sector poblacional asociado a los grupos de emisiones, así como algunas propuestas para la posible reducción en un 30 % de las emisiones generadas a la atmosfera, por lo menos.

### **Capítulo 3:**

**Emisiones de Gases de Efecto Invernadero derivadas del consumo de energía eléctrica.** Evalúa las emisiones indirectas asociadas al consumo eléctrico mediante la determinación de dicho consumo durante el 2017, y su relación con la

emisión de bióxido de carbono equivalente, con base en los consumos totales de combustibles y la generación eléctrica neta. Asimismo identifica el tipo de equipamiento asociado al mayor consumo energético, así como propuestas de algunas estrategias inmediatas mitigantes.

#### **Capítulo 4:**

**Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a partir de las aguas residuales crudas y provenientes de las plantas de tratamiento.** Estima la tasa de producción de agua residual por día, y su relación con los volúmenes reales de ingreso en cárcamos, así como los volúmenes de agua generada por la planta de tratamiento a base de un humedal artificial, determinando los sitios de mayor producción de aguas residuales, de emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), de forma histórica, para su comparación futura y llegar a alcanzar niveles inferiores en el año 2020.

#### **Capítulo 5:**

**Diagnóstico de emisiones de  $\text{CO}_2\text{eq}$  en el Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos.** Estima la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, por el reciclado de materiales valorizables en el centro de acopio conocido como CATRE y ubicado en la División Académica de Ciencias Biológicas.

#### **Capítulo 6:**

**Caracterización de suelo en el Jardín Botánico José Narciso Rovirosa y tintal.** Se enfoca a un diagnóstico del tipo de suelos presente en tres diferentes sitios dentro de la División Académica, mediante el análisis de sus características fisicoquímicas; particularmente resaltan el potencial de

hidrógeno (pH), porcentaje de humedad higroscópica (% HH), porcentaje de humedad a capacidad de campo (% HCC), textura y porcentaje de materia orgánica (% MO) en dos profundidades distintas.

### **Capítulo 7:**

**Macroinvertebrados acuáticos, peces y aves distribuidos en sitios con diferentes asociaciones vegetales.** Aborda la biodiversidad en una de las áreas de conservación dentro de la División Académica, particularmente de macroinvertebrados, peces y aves, resaltando aquellas que pudieran encontrarse bajo algún estatus de protección o endémicas, así como de aquellos grupos de mayor diversidad presentes y detectados en la zona de estudio.

### **Capítulo 8:**

**Caracterización de las comunidades vegetales asociadas a un humedal tropical urbano en Tabasco, México.** Evalúa aspectos importantes de la flora, como es su composición actual, su estructura y cómo se relacionan con el tipo de ambiente donde se encuentran, resaltando en cuanto a diversidad biológica dentro de cuatro sitios de estudio, las más representativas y las que en menor grado fueron observadas, así como aquellas que pudieran encontrarse bajo algún estatus de protección por la normatividad mexicana.

### **Capítulo 9:**

**Estimación de captura de carbono mediante el uso de ecuaciones alométricas en dos áreas arbóreas.** Estima de forma indirecta, mediante una categorización y grado de abundancia de especies vegetales, la biomasa, el porcentaje de bióxido de carbono y el porcentaje de carbono que se

fija por parte de la flora (particularmente se refiere a los organismos fotosintéticos), definiendo la o las especies de mayor capacidad de captación de carbono dentro de la zona de estudio correspondiente.

Como se puede observar al revisar los temas de los estudios realizados, estos servirán para establecer los valores de línea base que permiten en primera instancia conocer el estado actual que guarda la División Académica en cuanto a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Estos valores, permitirán establecer estrategias de monitoreo posterior para la evaluación del grado de eficiencia de las estrategias de mitigación de emisiones que conduzcan hacia lograr un balance de las mismas, asociadas a proyectos de optimización, implementación de alternativas tecnológicas y programas de uso responsable, así como la protección (y en lo posible de ampliación) de zonas de vegetación, que definen a una escuela ambientalmente responsable, necesarias en el estado de Tabasco y en México.

## REFERENCIAS

- DCNC (The Declaration of the Carbon Neutrality Coalition). (2017). Recuperado el 10 de septiembre del 2018, [https://www.2050pathways.org/wp-content/uploads/2018/04/Declaration\\_Coalition\\_Neutralite\\_Carbone.pdf](https://www.2050pathways.org/wp-content/uploads/2018/04/Declaration_Coalition_Neutralite_Carbone.pdf)
- Natural Capital Partners. Carbon Neutral Protocols: Global standard for carbon neutral programmes. (2018). Recuperado el 10 de septiembre 2018, [https://assets.naturalcapitalpartners.com/downloads/The\\_CarbonNeutral\\_Protocol\\_Jan\\_2018.pdf](https://assets.naturalcapitalpartners.com/downloads/The_CarbonNeutral_Protocol_Jan_2018.pdf)

Padrón-López, R.M. (2018). Programa de Acción de la DACBiol: Escuela Carbono Neutro. (p. 45). Tabasco, México: División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Recuperado de <http://www.archivos.ujat.mx/2018/DACBIOL/informe/ProgEsCarboNeutroDACBiol.pdf>

ULSF. Association of University Leaders for a Sustainable Future. (2018). Talloires Declaration. Recuperado 18 de septiembre del 2018, [http://ulsf.org/wp-content/uploads/2015/06/Spanish\\_TD.pdf](http://ulsf.org/wp-content/uploads/2015/06/Spanish_TD.pdf)

## Capítulo 2

# EMISIONES DE CO<sub>2</sub>eq DEBIDAS A FUENTES MÓVILES

Jesús Manuel Carrera Velueta  
Jhoany Hernández Torales  
Irving Iván Salvador Torres  
Jhonnatan del Jesús García Ricardez  
Elizabeth Magaña Villegas<sup>1</sup>

### RESUMEN

Para contribuir con la misión de la *División Académica de Ciencias Biológicas* (DACBiol), que pretende prevenir y controlar la contaminación para mejorar la calidad de vida de la sociedad, se realizó un estudio cuyo propósito fue analizar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), debidas a fuentes móviles que circulan dentro de la institución, durante los meses de febrero-junio 2017 que permitiera definir estrategias institucionales tendientes a su mitigación.

Para la estimación de las emisiones se consideraron tres períodos académicos y se estimaron con la ayuda del modelo IVE. Para ello se cuantificó el flujo vehicular (partidas) por día y hora de la semana de lunes a viernes de 07:00 a 19:00 h y sábado de 07:00 a 15:00 h. Se obtuvo la flota vehicular mediante una encuesta realizada al 20 % de la población académica que ingresa

---

<sup>1</sup>Coordinadora del Programa de Acción de la DACBiol: emisiones; División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Correo electrónico: elizabeth.magana@ujat.mx

en auto a la División Académica. Como resultados relevantes se obtuvo que se generaron 2.17 t CO<sub>2</sub>eq, conformado por las emisiones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y metano (CH<sub>4</sub>), siendo marzo el mes con mayor emisión (27.19 %). Considerando que la velocidad de los autos es uno de los principales factores que influyen en la generación de emisiones, se establecieron tres acciones principales para la disminución de éstas: *rediseño del estacionamiento, separación de la entrada de vehículos y peatones, y eliminación del tope al ingreso de la institución*; las cuales de llevarse a cabo conjuntamente podrían disminuir las emisiones hasta en un 30 %. Es importante acentuar que la flota vehicular determinada es predominantemente joven (kilometraje menor a 79,000 km), correspondiente al 50 % de los autos y cuyas tecnologías generan bajas emisiones. Finalmente, se observó que la mayoría de los autos que ingresan a la DACBiol pertenecen a la propia comunidad académica, por lo que las acciones que se identificaron, van dirigidas a los mismos con una alta probabilidad de éxito.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica se refiere a la presencia en el aire de materias o formas de energía que generan desequilibrio ecológico, causando riesgo, daño o molestia grave para las personas, así como atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables. Yassi, Kjellstrom, De Kok, y Guidotti (2002) la describen como «la emisión al aire de sustancias peligrosas a una tasa que excede la capacidad de los procesos naturales de la atmósfera para transformarlos, precipitarlos y depositarlos o diluirlos por medio del viento y el movimiento del aire». Desafortunadamente, se aplica el término

de contaminación atmosférica a las alteraciones que tienen efectos perniciosos en las personas, principalmente.

Esta problemática es cada vez más frecuente en muchas ciudades del mundo y se ha observado que tiene una estrecha relación con el estado económico, poblacional y tecnológico. Actualmente es considerada, por sí sola, el riesgo ambiental para la salud más importante a nivel mundial. Dicha aseveración se puede analizar desde los puntos de vista social, económico y ambiental. Desde el punto de vista social, la contaminación atmosférica es una de las principales responsables de muertes en la población. En este sentido, la *Organización Mundial de la Salud* (OMS, 2014) anunció que de acuerdo con estimaciones en el 2012 unos siete millones de personas murieron \_una de cada ocho del total de muertes en el mundo\_ como consecuencia de la exposición a la contaminación atmosférica, siendo las cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares los factores de muerte prematura más relevantes. Además, la OMS indica que la contaminación del aire es carcinógena (pulmón, vías urinarias y vejiga entre otros), para el ser humano y aunque las muertes pueden atribuirse a más de un factor de riesgo al mismo tiempo, éstas podrían haberse evitado de mejorar la calidad del aire ambiente (OMS, 2018).

A nivel nacional, existe suficiente evidencia para señalar que la exposición a contaminantes atmosféricos ocasiona daños a la salud de las personas (SEMARNAT, 2017). El *Centro Mario Molina* señala que uno de los 15 primeros factores de riesgos a la salud en el país es la exposición a concentraciones excesivas de emisiones de contaminantes en el aire (CMM, 2015). Mientras que el *Instituto Nacional de Salud Pública* indica que, para el 2015, cerca de 29 mil muertes y casi 558 mil DALY (años de vida

ajustados por discapacidad) serían atribuibles a la mala calidad del aire (IHME, 2016 citado en INSP, 2016). En Tabasco, de acuerdo con un estudio realizado por el gobierno estatal para el período 2005-2015, observó un aumento en las enfermedades del corazón, así como incumplimientos de las normas de calidad del aire, por lo que supone que probablemente una fracción de esos casos de muertes prematuras sea atribuible a los contaminantes en el aire (SERNAPAM, 2018).

Desde el punto de vista económico, habrá que considerar no solo la parte obvia, pues las afectaciones a la salud asociadas a la contaminación atmosférica incrementan el ausentismo y las incapacidades laborales, el gasto en medicinas y consultas médicas de las familias, entre otros, por lo que su impacto económico es importante. Las cifras del *Instituto Nacional de Estadística y Geografía* (INEGI) indican que, en 2015, la contaminación atmosférica representó costos ambientales del orden de 577 mil 698 millones de pesos, equivalente al 3.2 % del *Producto Interno Bruto* (SEMARNAT, 2017) y de acuerdo con una valoración económica en la región centro de nuestro país, los beneficios de reducir las  $PM_{2.5}$  en esa zona podrían oscilar desde 14 mil millones de pesos, bajo un escenario muy conservador, hasta 135 mil millones de pesos con un escenario menos conservador (INSP, 2016). Además, se debe considerar que cerca del 90 % de las muertes relacionadas con la contaminación del aire se producen en países de ingresos bajos y medianos, ya que los ingresos no son suficientes para invertir en el sector salud, ocasionando que casi dos de cada tres muertes se produzcan en las regiones de Asia sudoriental y del Pacífico occidental (OMS, 2018).

Por otro lado, y desde el punto de vista ambiental, las condiciones de la atmósfera han cambiado en los últimos años favoreciendo el cambio climático (INECC, 2011). Este es el cambio estable y durable en la distribución de los patrones del clima de la Tierra, es decir, es de alcance mundial. Es importante distinguir que existe una diferencia significativa entre calentamiento global y cambio climático. El primero hace referencia a los aumentos de temperaturas superficiales derivados del efecto invernadero; mientras que el segundo incluye al calentamiento global y todos los otros aspectos sobre los que influyen el aumento de los GEI en la atmósfera. El cambio climático es considerado uno de los mayores desafíos de nuestro tiempo, cuyas consecuencias suponen una presión adicional para nuestras sociedades y el ambiente con fenómenos meteorológicos extremos más intensos (huracanes, precipitaciones intensas, sequías, olas de calor), que amenazan la producción de alimentos, incrementa el riesgo de inundaciones catastróficas, cambios en el comportamiento de animales, aumento del nivel del mar, entre otros. Por lo que un lema emitido por la ONU dice: *si no se toman medidas drásticas desde la actualidad, será más difícil y costoso adaptarse a estos efectos en el futuro* (ONU, 2013).

De acuerdo con reportes del *Panel Intergubernamental de Cambio Climático*, el crecimiento económico y poblacional son los factores impulsores más relevantes en el incremento de los GEI derivados de los combustibles fósiles. El uso de estos combustibles en fuentes móviles genera emisiones importantes de contaminantes gaseosos y de material particulado (PM). En la mayoría de las áreas urbanas, los vehículos automotores participan de manera significativa en las emisiones de gases orgánicos totales (GOTs), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno, (NO<sub>x</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), partículas (PM),

gases tóxicos del aire y especies reductoras de la visibilidad. Se estima que, a escala mundial, éstas contribuyen con un 14 % del total de las emisiones, mientras que para México la contribución es cerca del doble (26 %). Instituciones ambientales de la nación como la *Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales* (SEMARNAT), busca a través de la *Estrategia Nacional de Calidad de Aire* (ENCA), que las ciudades además de cumplir con el monitoreo de calidad del aire, mantengan estándares adecuados de concentración de contaminantes en su atmósfera a través de su gestión integral y del uso de herramientas que recaban información confiable y oportuna como los inventarios de emisiones (SEMARNAT, 2017).

Como se mencionó previamente, a escala nacional una de las principales fuentes de emisión de contaminantes al aire son los vehículos automotores. De acuerdo con el inventario nacional de emisiones para México año base 2008, esta fuente generó, entre otros contaminantes, 90 % del monóxido de carbono (CO), 45 % de los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y 20 % del carbono negro (INECC, 2014). En el área metropolitana de Monterrey en el año 2005, se estimó que el mayor porcentaje del total de emisiones liberadas de contaminantes de GEI correspondía al CO representado con un 84.5 %, siendo los vehículos y camionetas de carga ligera los que tenían un mayor porcentaje de circulación en el área de estudio (Céspedes, 2016). Mientras que, en nuestro Estado, Zapata (2015), realizó un inventario de emisiones de fuentes móviles con año base 2011 y obtuvo que la emisión anual emitida por las unidades con año-modelo 1987 a 2011, demostró una reducción neta del 38.2 % con respecto al inventario de emisiones de 1999 debido a modelos más recientes de vehículos que poseen tecnologías que permiten la reducción de las emisiones del escape. Asimismo, el inventario

de emisiones estatal con año base 2016 revela que, al considerar las fuentes móviles carreteras y móviles no carreteras, los NO<sub>x</sub> son responsables del 16 % de las emisiones totales. Sin embargo, si se consideran sólo las emisiones antropogénicas, las fuentes móviles que circulan por carretera emiten principalmente CO, 57 % y NO<sub>x</sub>, 24 % (SERNAPAM, 2018).

Para facilitar la integración de los inventarios de emisiones vehiculares, se utilizan modelos computacionales; la mayoría de los modelos pueden generar directamente el valor total del inventario de emisiones; sin embargo, existen también modelos que generan como salida factores de emisión y su utilización va en función de los datos de insumos que el modelo solicite, así como el objetivo que se quiera alcanzar (INECC, s.f.). A continuación, se presentan los conocimientos fundamentales para la comprensión del proceso utilizado en la estimación de emisiones de los contaminantes debido a fuentes móviles.

### ***Procesos de emisión en los vehículos que circulan por carretera***

Los vehículos de gasolina emiten principalmente CO, NO<sub>x</sub> e hidrocarburos. Mientras que los vehículos de diésel emiten partículas sólidas en forma de hollín que da lugar al humo negro, hidrocarburos no quemados, NO<sub>x</sub> y anhídrido sulfuroso procedente del azufre contenido en el combustible (INECC, 2013). Las emisiones resultantes del uso de los vehículos se deben a un conjunto de elementos conformado por el motor, el combustible y el modo de uso; es decir, que las emisiones emitidas a la atmósfera se deben a la interacción de estos tres factores y no de alguno en particular (Lara et al., 2010).

Éstas están integradas por un gran número de contaminantes que provienen de distintos procesos, las más comunes son las provenientes del escape.

Las emisiones del escape resultan de la combustión del combustible y que son liberadas por el escape del vehículo. Los contaminantes de interés clave en este tipo de emisiones incluyen GOTs, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM, gases tóxicos del aire (por ejemplo 1, 3-butadieno, benceno, formaldehído, etcétera), y las especies reductoras de visibilidad (como el amoníaco, sulfatos, PM<sub>2.5</sub>, entre otros) (SCT, 2010). Además de las emisiones del escape, los vehículos automotores registran una gran variedad de procesos de emisión evaporativa que se limitan a emisiones de GOTs, y que incluyen:

- a) Emisiones evaporativas del motor caliente: son aquellas emisiones derivadas de la volatilización del combustible en el sistema de alimentación después de que el motor se ha apagado. Esta volatilización es provocada principalmente por el calor residual del motor.
- b) Emisiones evaporativas de operación: emisiones ocasionadas por las fugas de combustible, tanto líquida como gaseosa, que se presentan mientras el motor está en funcionamiento. Una combustión incompleta contamina el aire, y libera menos energía de la que teóricamente puede obtenerse. Por otro lado, debido a las altas temperaturas en la cámara de combustión se produce la combinación de N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, formando NO<sub>x</sub>.
- c) Emisiones evaporativas durante la recarga de combustible: aquellas emisiones desalojadas del tanque de combustible del vehículo durante la recarga. Estas ocurren mientras el vehículo está en reposo en las gasolineras. La recarga de combustible es manejada típicamente como fuente de área.

- d) Emisiones diurnas: son las emisiones generadas en el tanque de combustible del vehículo debidas a una mayor temperatura del combustible y a su presión de vapor. Estas emisiones se deben al incremento de la temperatura ambiente ocasionado por el sistema de escape del vehículo o por el calor reflejado en la superficie del camino.

### *Metodología básica para la estimación de emisiones*

La ecuación básica utilizada para la estimación de las emisiones de los vehículos automotores requiere la multiplicación de los datos de actividad vehicular por un factor de emisión apropiado, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$E_T = FE_i * AV$$

Donde:

$E_T$  = Emisiones totales del contaminante,

$AV$  = Actividad del vehículo, y

$FE_i$  = Factor de emisión del contaminante  $i$ .

Para los vehículos automotores, los datos de actividad se refieren a los kilómetros recorridos por vehículo (KRV) y representan la distancia total recorrida por una población de vehículos en un período determinado. Por su parte los factores de emisión se expresan en unidades de masa de contaminante por KRV. Es preferible que los KRV sean estimados a partir de modelos de transporte o aforos vehiculares que describen el comportamiento de la circulación del tráfico. En algunos casos, los KRV deben ser obtenidos a partir de las estadísticas de consumo de combustible.

Para generar un inventario de emisiones de vehículos automotores, es necesario recopilar una gran variedad de datos que incluyen KRV; estadísticas de velocidades de manejo, datos del registro vehicular y clases de vehículos; así como las características del combustible. La información recabada puede ser definida en tres categorías: *datos primarios, secundarios y terciarios*.

- 1) Los datos primarios, es la información mínima requerida para generar un inventario básico, el inventario con respecto a las condiciones locales. Los datos primarios para un inventario incluyen:
  - a) Datos de actividad vehicular que cubran el área total correspondiente al inventario y establecidos típicamente por KRV o consumo de combustible, agrupados para coincidir con los datos del factor de emisión disponibles.
  - b) Estándares de emisión vehicular por año y modelo.
  - c) Velocidades vehiculares promedio.
  - d) Factores de emisión correspondiente al conjunto de variables principales: tipo de vehículo, tipo de combustible, año, modelo y velocidad de manejo.
  - e) Datos de la composición del combustible para la región del inventario, por estación, incluyendo contenido de azufre, oxígeno y plomo y presión de vapor Reid (PVR).
  - f) Distribución del parque vehicular por año y modelo, incluyendo la fracción de vehículos no registrados y extranjeros.
  - g) Condiciones locales de altitud y temperatura ambiente.

- h) Tasas de acumulación anual de kilómetros por vehículo, por clase vehicular, modelo y año.
- 2) Los datos secundarios reemplazan a los parámetros clave por omisión con datos locales en los siguientes aspectos:
  - a) Información sobre el programa local de inspección y mantenimiento de vehículos (I/M), y del programa anti-alteraciones (PAA).
  - b) Datos de las encuestas locales de alteración de vehículos y tasas de uso del combustible no adecuado.
- 3) Los datos terciarios se incluyen en la medida en que estén disponibles que permitirá refinar el modelo:
  - a) Datos de las encuestas locales de hábitos de manejo para identificar las longitudes de recorrido promedio y el tiempo transcurrido entre los arranques de motor.
  - b) Datos de la encuesta del patrón de manejo para identificar los patrones locales de velocidades vehiculares, peso transportado y tasas de aceleración.

### ***El modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE)***

Para facilitar la integración de los inventarios de emisiones vehiculares se utilizan modelos computacionales, uno de esos es el modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE, 2009). El IVE fue diseñado para estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos locales, gases responsables del efecto invernadero y contaminantes tóxicos debido a vehículos motorizados. El modelo fue desarrollado mediante el esfuerzo conjunto del Centro para la Investigación y Tecnología Ambiental de la escuela de ingeniería de la Universidad de California en Riverside (CE-CERT -UCR), Instituto de Investigación de Sistemas

Sustentables Globales (GSSR) y el Centro de Investigación de Sistemas Sustentables Internacionales (ISSRC) mediante el financiamiento de la Agencia de Protección del Medioambiente de Estados Unidos (EPA) y con el propósito principal de ser usado en países en vías de desarrollo.

El modelo IVE está diseñado para usar información existente y/o datos que puedan ser recolectados fácilmente para cuantificar los tres componentes necesarios para desarrollar un inventario de emisiones de fuentes móviles: *Factores de emisión*, *Actividad vehicular*, y *Distribución de la flota vehicular* (ISSRC, 2009). Una vez que esta información es recolectada, es posible obtener un inventario de emisiones de fuentes móviles fiable.

### ***Factor de emisión***

Es una relación entre la cantidad de un contaminante emitido y una sola unidad de actividad. La actividad puede consistir en datos basados en procesos o en datos basados en censos (Radian Corporation, 1996). El modelo IVE contiene una base fija estándar con respecto a México, dichos datos se determinaron a partir del contenido de carbono por unidad de energía de los combustibles que se consumen en el país (INECC, 2014). Para estimar los factores de emisión de vehículos automotores es necesario conocer las tasas básicas de emisión promedio (TBEs) que se obtienen como las emisiones de los vehículos en uso obtenidos en condiciones de prueba normalizadas y representan las emisiones medidas en condiciones de prueba sumamente controladas, es decir, a temperatura, características del combustible y ciclos de manejo normalizados.

Debido a que las tasas básicas de emisión no corresponden exactamente con las emisiones reales del vehículo, se deben aplicar diversos factores de ajuste a las emisiones reales. De esta manera, a partir de la TBEs es posible calcular un factor de emisión básico (BEF) para cada tipo de vehículo, modelo y año. En particular, debido a que las emisiones varían con la edad del vehículo, es necesario obtener regresiones lineales que relacionan los datos de las emisiones con la distancia recorrida por el vehículo. Estas regresiones dan como resultado ecuaciones TBEs que incorporan una tasa de emisión de cero millas (ordenada al origen de la regresión) y una tasa de deterioro (pendiente). La primera representa las emisiones de un vehículo nuevo, mientras que la segunda describe la manera en que las emisiones se incrementan con el kilometraje (millaje) del vehículo.

### ***Actividad vehicular***

Es el factor que describe las características utilizadas durante la conducción como: el kilometraje, variables ambientales (temperatura, pendiente, altitud), patrones de partidas (entradas y salidas de vehículos), características del combustible (calidad y cantidad de contaminantes y aditivos), uso del aire acondicionado y velocidad promedio de operación para la obtención de factores de emisión vehicular correspondientes.

### ***Distribución de flota vehicular***

La flota vehicular es un listado representativo en el que se clasifican una muestra de vehículos automotores con base en las

características de tipo y tamaño de vehículo, tecnología vehicular (combustible, sistema de control de combustible, control de escape, sistema de ventilación) y kilometraje recorrido.

El modelo IVE estima ecuaciones de factores de emisión corregidos para cada tipo de vehículo, modelo y año. Estas ecuaciones teóricas básicas serán influenciadas por los parámetros de entrada del modelo. El proceso de cálculo de estimación de los factores de emisión corregidos se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$FE[t] = B[t] * K(1)[t] * K(2)[t] * \dots * K(x)[t]$$

Esta ecuación multiplica la base de factores de emisión (B) por la serie de factores de corrección (K) para estimar los ajustes del factor de emisión (FE) para cada tipo de vehículo [t]. Los factores de corrección pueden clasificarse en las categorías:

- 1) Variables locales:
  - a) Temperatura.
  - b) Humedad relativa.
  - c) Altitud.
- 2) Variables de calidad del combustible:
  - a) Clase de gasolina:
    - i. Contenido de azufre.
    - ii. Contenido de plomo.
    - iii. Contenido de benceno.
    - iv. Oxigenación.
  - b) Clase de diésel:
    - i. Contenido de azufre.
- 3) Variables de conducción:
  - a) Pendiente del terreno.
  - b) Temperatura del aire acondicionado.

Una vez obtenido el factor de emisiones corregidas, este dato será ejecutado para la obtención de factores de emisión de partidas.

## **MÉTODO**

Debido a que existe una gran preocupación en áreas de confinamiento y de amplio tránsito vehicular, como los estacionamientos, en donde se presenta un aumento del parque automotor que emiten compuestos nocivos para la salud, se estimaron las emisiones GEI debidas a las fuentes móviles que circulan dentro de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol), durante el período febrero-junio 2017, a través de un modelo computacional IVE. A continuación, se describe la metodología empleada para la estimación de las emisiones.

## **ÁREA DE ESTUDIO**

La División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol), de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) se localiza a 17° 59' 26" latitud Norte y 92° 58' 37" longitud Oeste, en el estado de Tabasco (México). El clima en esta zona es cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano, con una temperatura media anual de 33.6 °C, la temperatura máxima promedio es de 40 °C en el mes de mayo y la mínima promedio mensual de 21.7 °C en diciembre y enero. Tiene una precipitación pluvial anual de 2,237 mm y vientos dominantes en dirección del noreste, acompañados de lluvias continuas en los meses de marzo y octubre.

La DACBiol está orientada a la investigación y el estudio de las ciencias biológicas, en el que se imparten las licenciaturas en Biología, Ingeniería Ambiental y Gestión Ambiental; actualmente se tiene una comunidad aproximada de 2,290 personas, formada por la población estudiantil, docentes, personal administrativo y de intendencia, de los cuales ingresan a este campus aproximadamente 460 automóviles. El área de estacionamiento está conformada por un espacio cuyo perímetro es aproximadamente de 500 m con cuatro islas, en donde se acomodan simultáneamente hasta 171 autos, y un espacio a la entrada de la División Académica junto al Centro de Investigación para la Conservación y Aprovechamiento de Recursos Tropicales (CICART) con capacidad para 31 autos, haciendo un total de alrededor de 202 autos.

El inventario de emisiones se realizó con la ayuda del modelo IVE, el cual se basa en dos componentes fundamentales, cada uno con distinta recolección de datos.

**1. Actividad vehicular.** Se realizaron cuatro actividades para la obtención de sus datos (la figura 1 muestra los datos correspondientes a cada actividad):

- a) Recopilación de datos meteorológicos.
- b) Recopilación de datos del tránsito en distintos períodos académicos.
- c) Encuesta para la obtención de la flota vehicular de la DACBiol.
- d) Características del área de estudio.

a) *Recopilación de datos meteorológicos.* Se recabó información diaria del 1 de febrero al 16 junio del 2017, correspondientes a los días de lunes a sábados, fechas en las que se realizaron

actividades durante los distintos períodos académicos, sobre variables meteorológicas de temperatura y humedad relativa de una Estación Meteorológicas Automática (SIME). La selección de la estación consistió exclusivamente por la cercanía al sitio de estudio, contando con una distancia aproximada de 4.2 km. La estación meteorológica está ubicada en 27 de febrero la estación Villahermosa. La información meteorológica fue recopilada en períodos de 10 minutos, con los cuales se obtuvieron los promedios horarios de estas variables.

*b) Recopilación de datos del tránsito en distintos períodos académicos.*

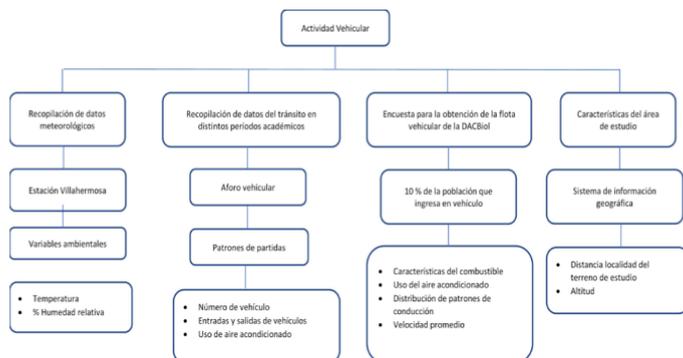
Los patrones de partidas (entradas y salidas de los vehículos en el sitio de estudio) se determinaron a través de aforos vehiculares, de los vehículos que circulan dentro de la institución por día y hora de la semana de lunes a viernes en un horario de 07:00 a 19:00 h y los sábados con un horario de 07:00 a 15:00 h. Los aforos se realizaron durante una semana en tres momentos: al inicio del ciclo escolar (febrero), después del período de bajas (marzo) y en la época de exámenes ordinarios (junio), para los meses del ciclo escolar febrero-junio 2017. Las fechas de los períodos establecidos fueron: al inicio de clases (13 al 18 de febrero 2017); después de la temporada de bajas (27 al 31 de marzo 2017); y fechas de ordinarios (5 al 16 de junio 2017).

Se establecieron tres momentos esenciales para la recopilación de datos de los aforos vehiculares para determinar si existen cambios en el flujo vehicular y la influencia que los períodos pudieran tener sobre ello. Se registró la cantidad de automóviles que ingresaron y salieron de la DACBiol. Se clasificaron considerando ventanas arribas y abajo (estos dos últimos para determinar la frecuencia con la que la población académica que ingresa en este medio de transporte utiliza el aire acondicionado) y autos locales y visitantes.

c) *Encuesta para la obtención de la flota vehicular de la DACBiol.*

Se determinaron las características de la flota vehicular mediante una encuesta realizada al 20 % de la población académica que circulaban en auto a la DACBiol (muestra representativa de los vehículos que ingresan a la institución). El dato de esta población se obtuvo a través del registro de partidas del aforo vehicular realizado en el primer período, se seleccionó el día con mayor ingreso de partidas durante el aforo vehicular, seleccionando el 13 de febrero de 2017 con un total de 558 ingresos, requiriendo así de 111 personas encuestadas y fueron validadas 105 encuestas.

Los datos solicitados en la encuesta fueron: modelo del vehículo, año del vehículo, tipo de combustible que utiliza, edad vehicular (kilometraje recorrido), registro de velocidad dentro del área de estudio, y modificaciones realizadas al motor del vehículo (sí/no). Con estos datos y la información de las fichas técnicas de los vehículos se obtuvo el tipo de tecnología vehicular de cada automóvil correspondiente a la muestra. La clasificación de los vehículos (flota vehicular) está basada en el manual del usuario del modelo IVE versión 2.0. A continuación, en la tabla 1, se muestran los elementos necesarios para la determinación de la flota vehicular de la DACBiol.



**Figura 1.** Esquema de información correspondiente a la actividad vehicular

**Tabla 1.**

Descripción de las claves de la flota vehicular.

	<b>Descripción abreviada</b>	<b>Descripción</b>	<b>Significado</b>
Tipo de combustible	Pt	Gasolina	Vehículo a gasolina
Tipo de vehículo	Auto/Sm Truck	Auto/ Camioneta	Vehículos de pasajeros (automóviles, camionetas, van o SUV) de peso bruto vehicular menor a 9,000 lb.
Tamaño del vehículo	Lt	Ligero	Vehículos con tamaños de motor menor a 1.5 litros y peso bruto vehicular menor a 5,000 lb
	Med	Mediano	Vehículos con motores de tamaño entre 1.5 a 3 litros y peso bruto vehicular entre 5,000 a 6,600 lb.
	Hv	Pesado	Vehículos con motores de tamaño mayor a 3 litros y peso bruto vehicular menor a 9,000 lb.

	<b>Descripción abreviada</b>	<b>Descripción</b>	<b>Significado</b>
Sistema de control de combustible	Carb	Carburado	Carburador
	SgPt FI	Inyección monopunto	Sistema de inyección electrónico único al múltiple de admisión
	MPFI	Inyección multipunto	Sistema de inyección electrónico múltiple
Control de escape	2wy	Catalizador de 2 vías	Catalizador que reduce las emisiones de HC y CO del motor.
	3wy	Catalizador de 3 vías	Catalizador que reduce las emisiones de HC, CO y NO <sub>x</sub> del motor.
Sistema de ventilación	PCV	Ventilación positiva del cárter	Control que desvía los gases desde el cárter a la cámara de combustión eliminando las emisiones evaporativas.
Edad	Kilometraje del vehículo	Número de kilómetros que hay o se recorren entre dos puntos.	Kilometraje

d) *Características del área de estudio.* El modelo IVE requiere para el cálculo de las estimaciones de emisión que sea alimentado con dos datos: *distancia recorrida de los vehículos en el sitio de estudio* y *la altitud del terreno en donde circulan*. Ambos datos se obtuvieron en distintos Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para la *distancia recorrida*, se midió tal valor de los vehículos que circulan en el área de estudio a través del SIG de Google Earth Pro, considerando un recorrido de la distancia promedio que pudieran realizar los vehículos, se obtuvo una distancia de 0.5 km. En cuanto a la *altitud*, este dato se obtuvo con Google Earth Pro, resultando entre 11 a 13 m de altitud. Adicionalmente, se utilizó la aplicación de celular My Elevation, en donde los datos obtenidos desde distintos puntos del sitio de estudio dieron un promedio de 12 m. Se utilizó el valor de altitud equivalente a 12 m.

**2. Variables de combustible y de conducción.** Se realizó una búsqueda a través del portal de *Petróleos Mexicanos* que describen la característica del combustible en México.

Es importante destacar que durante los tres aforos no se determinaron vehículos que funcionaran con diésel, por lo que en la tabla 2 se muestran las características que fueron introducidas al modelo IVE en las simulaciones.

Con la información necesaria completa, se procedieron a realizar las estimaciones de emisión de Gases de Efecto Invernadero por hora y día. Después de obtener las emisiones totales mensuales de GEI, se realizó la conversión de unidades. Para el caso de los GEI los resultados deben presentarse en toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>eq). Para presentar los resultados en (tCO<sub>2</sub>eq), fue necesario convertir la emisión de cada GEI a unidades de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq) usando para ello el potencial de calentamiento global de cada gas presentado en la tabla 3.

### **Potencial de Calentamiento Global**

El GWP (por sus siglas en inglés) es una medida para comparar el impacto climático potencial de las emisiones de los diferentes GEI. Este compara el forzamiento radiactivo integrado durante un período de tiempo específico con una emisión de pulso de una unidad de masa (IPCC, 2007). Este potencial se define como el factor que describe el impacto de la fuerza de radiación de una

unidad de un determinado gas de efecto invernadero en relación con una unidad de CO<sub>2</sub>. Por convención, el bióxido de carbono tiene un valor de potencial de calentamiento global de 1. Los valores de los potenciales de calentamiento global están tomados de los reportes de evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

El procedimiento consistió en convertir los valores de las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero estimados con el modelo IVE a toneladas métricas y posteriormente multiplicar por su respectivo valor del potencial de calentamiento global finalmente se sumaron.

**Tabla 2.**

Descripción de las claves de la flota vehicular.

<b>Variable</b>	<b>Datos solicitado</b>	<b>Dato ingresado</b>
Calidad del combustible	Gasolina	Moderada premezclada
	Contenido de azufre	Bajo azufre (50 ppm)
	Contenido de plomo	Plomo ninguno
	Contenido de benceno	Benceno moderado (1.50 %)
	Oxigenación	Oxigenada al 2 %
Variables de Conducción	Pendiente	0 %
	Uso de aire acondicionado	80 % de 27 °C
		Datos obtenidos en aforos vehiculares

**Tabla 3.**

Potencial de Calentamiento Global para los GEI.

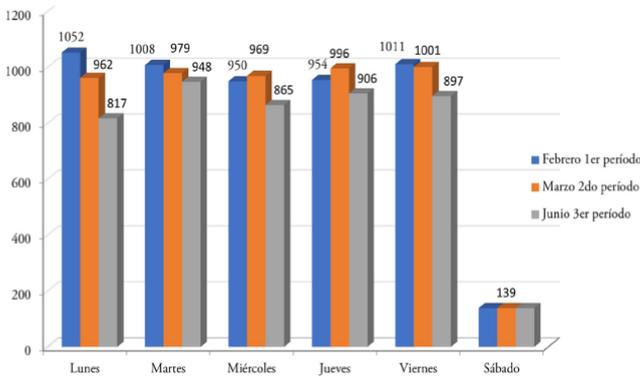
Nombre químico	Fórmula química	Potencial de Calentamiento Global PCG en CO <sub>2</sub> eq
Bióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	28
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	265

*Fuente:* Valores de los Potenciales del Calentamiento Global tomados por los reportes de evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2014).

## RESULTADOS

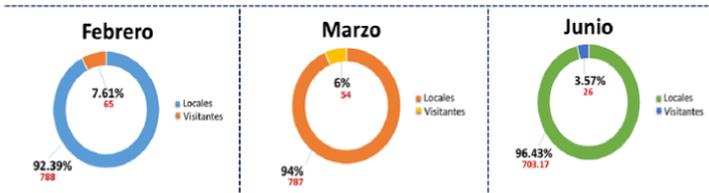
De la actividad vehicular en los tres períodos evaluados, se observó que no existe un comportamiento similar en las partidas por período. Para el primer período, el lunes es el día con mayor flujo vehicular, el viernes para el segundo y el martes para el tercero. Asimismo, se observa que el sábado es el día con menor flujo vehicular, esto debido a que, en este día, únicamente ingresan a la escuela estudiantes y profesores de posgrado y aquellos con proyectos de investigación activos.

El período de baja no cambió significativamente las partidas semanales (-68), ya que la mayoría de los estudiantes no dan de baja todas sus asignaturas, por lo que siguen llegando a la institución. Sin embargo, se observan diferencias significativas para los primeros dos períodos del aforo vehicular con respecto al tercero, siendo febrero el mes con mayor número de partidas de locales y visitantes (5,114), seguido de marzo (5,046) y finalmente junio con (4,572). La figura 2 muestra estos resultados para cada período.



**Figura 2.** Aforo vehicular por período de muestreo.

Junio fue el mes con mayor número de partidas locales con un 96.46 % y febrero como el menor con 92.39 % (Figura 3). Como se observa, las partidas de visitantes tienen poca influencia sobre el total, lo cual implica que las estrategias evaluadas van dirigidas principalmente a la población académica de la DACBiol.



**Figura 3.** Porcentajes de partidas de locales y visitantes de cada período evaluado.

## Flota vehicular

La tabla 4 muestra la flota vehicular de la DACBiol para el primer semestre de 2017. La tabla está compuesta de 3 columnas: 1) clase vehicular, son las clasificaciones por tecnología, tipo, tamaño y edad del auto y combustible de los vehículos que circulan en la DACBiol; 2) Grupo 1, son las proporciones por clase vehicular; y 3) Grupo 1 AC, es el porcentaje promedio del total de los vehículos que usan aire acondicionado durante el trayecto del sitio evaluado. En la tabla 4 podremos observar que casi una tercera parte de la flota vehicular de la DACBiol corresponde a autos mediados considerados como jóvenes y con tecnologías de bajas emisiones.

Se observa que la DACBiol cuenta con una flota vehicular joven, para los meses evaluados, en el cual el 49.52 % de los autos son recientes (kilometraje menor a 79,000 km), 27.64 % para autos viejos (kilometraje mayor a 161,000 km) y 22.85 % para autos de edad media (kilometraje entre 80,000 a 161,000 km) (figura 4). Además, el 34.61 % corresponden a la clase más predominante de la flota vehicular, siendo este porcentaje para los vehículos con consumo de gasolina, tamaño mediano y con tecnología multipunto de 3 vías (figura 5).

De las estimaciones se obtuvo una aportación global total de 2.17 TCO<sub>2</sub>eq. El CO<sub>2</sub> con 1.24 de tCO<sub>2</sub>eq es el contaminante de mayor emisión, seguido del CH<sub>4</sub> y posteriormente el N<sub>2</sub>O. Adicionalmente, se observó que marzo fue el mes con mayor emisión de GEI (0.59 t CO<sub>2</sub>eq) (tabla 5).

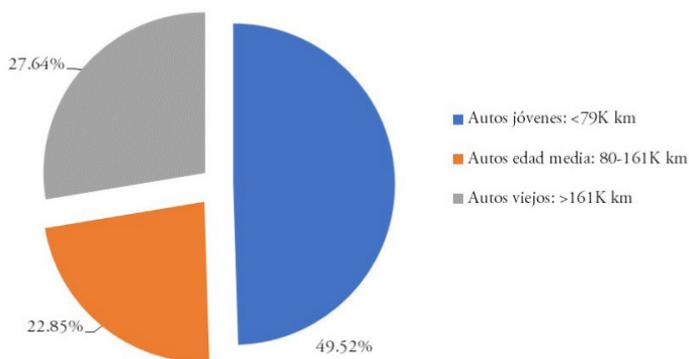
**Tabla 4.**

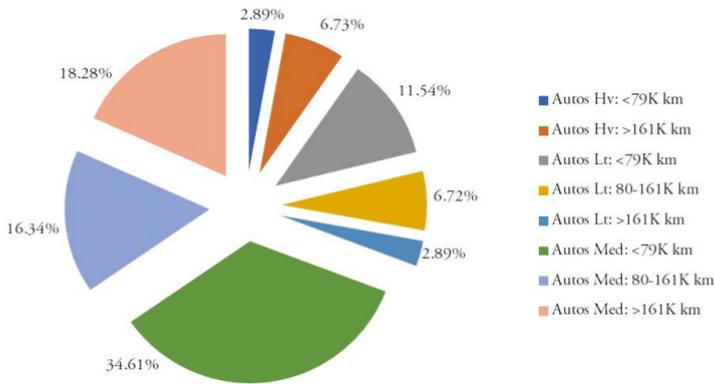
Flota vehicular DACBiol 2017.

<b>Clase Vehicular</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 1 AC</b>
Pt: Auto/SmTk: Hv : SgPt FI: 2Wy : PCV : >161k km	0.95	19.46
Pt: Auto/SmTk: Med : SgPt FI: 3Wy : PCV : >161k km	1.91	19.46
Pt: Auto/SmTk: Med : SgPt FI: 2Wy : PCV : >161k km	1.91	19.46
Pt: Auto/SmTk: Hv : MPFI : 3Wy : PCV : >161k km	3.81	19.46
Pt: Auto/SmTk: Med : MPFI : 3Wy : PCV : >161k km	14.29	19.46
Pt: Auto/SmTk: Lt : MPFI : 3Wy : PCV : >161k km	0.95	19.46
Pt: Auto/SmTk: Hv : Carb : None : PCV : >161k km	1.91	19.46
Pt: Auto/SmTk: Lt : Carb : None : PCV : >161k km	1.91	19.46
Pt: Auto/SmTk: Med : SgPt FI: 2Wy : PCV : <79k km	0.95	19.46
Pt: Auto/SmTk: Hv : MPFI : 3Wy : PCV : <79k km	2.86	19.46
Pt: Auto/SmTk: Med : MPFI : 3Wy/EGR : PCV : <79k km	0.95	19.46
Pt: Auto/SmTk: Med : MPFI : 3Wy : PCV : <79k km	32.38	19.46
Pt: Auto/SmTk: Lt : MPFI : 3Wy/EGR : PCV : <79k km	0.95	19.46
Pt: Auto/SmTk: Lt : MPFI : 3Wy : PCV : <79k km	11.43	19.46
Pt: Auto/SmTk: Lt : SgPt FI: 2Wy : PCV : 80-161k km	0.95	19.46
Pt: Auto/SmTk: Med : MPFI : 3Wy/EGR : PCV : 80-161k km	0.95	19.46
Pt: Auto/SmTk: Med : MPFI : 3Wy: PCV : 80-161k km	15.24	19.46
Pt: Auto/SmTk: Lt : MPFI : 3Wy : PCV : 80-161k km	5.71	19.46
<b>Total</b>	<b>100.01</b>	

**Tabla 5.**Aportación mensual de tCO<sub>2</sub>eq.

Meses	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	Total
				T CO <sub>2</sub> eq
Febrero	0.27	0.05	0.15	0.47
Marzo	0.33	0.06	0.19	0.59
Abril	0.15	0.03	0.09	0.27
Mayo	0.31	0.06	0.18	0.55
Junio	0.17	0.03	0.09	0.29
			<b>Total general</b>	<b>2.17</b>

**Figura 4.** Porcentaje de edad de la flota vehicular DACBiol.



**Figura 5.** Porcentaje por tipo de la flota vehicular DACBiol.

## CONCLUSIÓN

Del análisis del flujo vehicular dentro de la DACBiol, se observa que el inicio de ciclo escolar presenta la mayor carga de partidas, disminuyendo hacia el final del ciclo escolar. Asimismo, se observó solo de manera visual durante los tres aforos que los eventos extraordinarios y días festivos tienen gran influencia sobre la generación de emisiones, por lo que se sugiere ampliar el estudio con las estimaciones en esos días.

Debido a que la velocidad es el único parámetro que se puede controlar para reducir las emisiones, las estrategias que desarrolle la institución para reducir los GEI debidas a fuentes móviles dentro de la escuela deberán estar basadas en este parámetro. Asimismo, la adopción de cualquier medida de mitigación tiene gran posibilidad de éxito ya que los autos que circulan en la DACBiol fueron detectados mayormente como locales, es decir, pertenecen a los miembros de la comunidad académica.

## AGRADECIMIENTOS

A todos los profesores, estudiantes y personal de intendencia que amablemente respondieron las encuestas realizadas. A los estudiantes de la asignatura de inventario de emisiones grupo F07, del ciclo febrero-julio 2017 por su apoyo en los aforos.

## REFERENCIAS

- Céspedes-Clavijo, T. (2014). Prospectiva del comportamiento de las emisiones generadas por las fuentes móviles en el área metropolitana de Monterrey, México. (Tesis de Maestría, publicada). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Monterrey, Nuevo León. Recuperado el 2 de marzo de 2018, <http://babel.banrepcultural.org/cdm/ref/collection/p17054coll23/id/135>
- CMM (Centro Mario Molina). (2015). Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente. Plan Integral de Calidad del Aire, beneficios sociales por mejorar la calidad del aire en México: impactos a la salud y su valoración económica. Recuperado el 6 de marzo de 2018.
- SEMARNAT-INECC (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). (2011). Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009). Recuperado el 8 de marzo de 2018, <http://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/informes/Cuarto%20almanaque%20de%20datos%20y%20tendencias%20de%20la%20calidad%20de%20aire%20en%2020%20ciudades%20mexicanas.pdf>

- SEMARNAT-INECC (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). (2013). Los vehículos automotores como fuente de emisión. Recuperado el 6 de marzo de 2018, <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/618/vehiculos.pdf>
- SEMARNAT-INECC (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). (2014). Elaboración del inventario nacional de emisiones de fuentes móviles para México 2013 y proyección 2030 mediante el uso del modelo Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES). Recuperado el 9 de marzo de 2018. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/197011/2014\\_CGCSA\\_Inventario\\_de\\_emisiones\\_usando\\_MOVES\\_parte\\_1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/197011/2014_CGCSA_Inventario_de_emisiones_usando_MOVES_parte_1.pdf)
- INSP (Instituto Nacional de Salud Pública). (2016). Estimación de impactos en la salud por contaminación atmosférica en la región centro del país y alternativas de gestión. Recuperado el 9 de marzo de 2018, [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/196765/Estimacion\\_de\\_impactos\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/196765/Estimacion_de_impactos_2016.pdf)
- IVE (30 de junio de 2009). International Vehicle Emissions Modelling. IVE Manual del Usuario versión 2.0 mayo de 2008: Centro internacional de Investigación de Sistemas Sostenibles (ISSRC). Recuperado de <http://www.issrc.org/ive/downloadmodel.html>
- ISSRC (International sustainable systems research center). (2008). International Vehicle Emissions Modelling (IVE): Manual del Usuario del Modelo IVE versión 2.0. Recuperado el 28 de febrero de 2018, <http://www.issrc.org/ive/downloads/manuals/UsersManual%28sp%29.pdf>
- Lara Gómez, C., Mendoza-Sánchez, F., López-Domínguez, M.G., Téllez-Gutiérrez, R., Martínez-Molina, W. y Alonso-Guzmán, M. (2010). Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana. Recuperado el 12 de marzo de 2018, <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt322.pdf>

- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2014). 7 millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica. Consultado el 6 de marzo de 2018, <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2018). Calidad del aire y Salud. Consultado el 18 de marzo de 2018, [http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2013). Cambio Climático. Consultado el día 15 de marzo de 2018, <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>
- Radian Corporation. (1996). Manuales del programa de inventario de emisiones en México: Volumen III-Técnicas básicas de estimación de emisiones. Recuperado el 16 de marzo de 2018, <https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/technic3.pdf>
- SCT (2010). Inventario de emisiones en carreteras federales del estado de Querétaro. ISSN 0188-7297
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2016). Estrategia Nacional de Calidad del Aire: 2017-2030. Propuesta. Recuperado el 3 de marzo de 2018, [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171917/SEMARNAT\\_-\\_Estrategia\\_Nacional\\_de\\_Calidad\\_del\\_Aire.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171917/SEMARNAT_-_Estrategia_Nacional_de_Calidad_del_Aire.pdf)
- SERNAPAM (Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección al Ambiente del Estado de Tabasco). (2018). Programa de gestión para mejorar la calidad del aire del estado de Tabasco 2018–2027: ProAire. Recuperado el 1 de marzo de 2018, [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/300701/22\\_ProAire\\_Tabasco.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/300701/22_ProAire_Tabasco.pdf)
- Yassi, A., Kjellstrom, T., De Kok, T. y Guidotti, T. (2002). Salud Ambiental Básica. Recuperado el 18 de marzo de 2018, [http://www.pnuma.org/educamb/documentos/salud\\_ambiental\\_basica.pdf](http://www.pnuma.org/educamb/documentos/salud_ambiental_basica.pdf)

Zapata, C. M. (2015). Inventario de emisiones 2011 de  $\text{NO}_x$  por fuentes móviles en la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco. (Tesis de Licenciatura, publicada). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de la División Académica de Ciencias Biológicas, Villahermosa, Tabasco.

## Capítulo 3

# EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DERIVADAS DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Mauricio Pérez Morales  
José Arturo Rodríguez Morales  
Oscar Silván Hernández  
Gaspar López Ocaña  
Liliana Pampillón González<sup>1</sup>

## RESUMEN

Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) provenientes de manera indirecta por el consumo eléctrico en el campus universitario de la DACBiol fueron cuantificadas a través de la metodología propuesta por el IPCC (2006). Para lo anterior, fue necesario realizar una auditoría energética que involucró el censo eléctrico de 6,920 equipos o aparatos eléctricos distribuidos en 23 instalaciones de la DACBiol. El diagnóstico energético reveló un consumo eléctrico total de 1'703,914 kWh para el año 2017. Dicho valor fue empleado para la cuantificación de emisiones considerando un factor de emisión de 0.55 t CO<sub>2</sub>eq/MWh, calculado con base al consumo total de combustibles

---

<sup>1</sup>Coordinadora del Programa de Acción de la DACBiol: energía; División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Correo electrónico: liliana.pampillon@ujat.mx

y la generación de electricidad neta distribuida por el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Las emisiones totales derivadas del consumo energético en la DACBiol corresponden a 946,672 kg CO<sub>2</sub>eq para el año 2017, siendo el uso de la energía para la climatización uno de los principales responsables. Medidas de ahorro y eficiencia energética a corto y mediano plazo fueron propuestas como parte de las estrategias para contribuir a mitigar las emisiones derivadas de este sector. Se sugiere priorizar por aquellas que no requieran una inversión de capital financiero, y que obedezcan a cambios en los hábitos en el uso de la energía en nuestro quehacer diario a fin de promover una cultura en la gestión integral del recurso y la preservación del medio ambiente.

## INTRODUCCIÓN

### *El sector eléctrico y las emisiones de GEI*

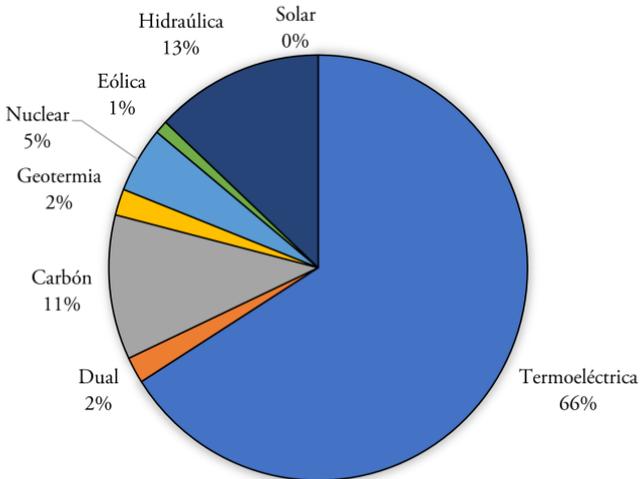
Actualmente el modelo energético para la mayoría de los países alrededor del mundo se centra en el consumo de combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica, principalmente de recursos como el petróleo, el gas natural y el carbón. El uso irracional, no medurado e indiscriminado de la energía que se genera a través de estos recursos, impacta en un mayor consumo energético y por ende en el aumento de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que contribuyen al cambio climático.

Detrás de esta permanente necesidad de energía en forma de electricidad, ocurre todo un proceso físico basado en el funcionamiento de un generador eléctrico que permite a través de un dispositivo especializado mantener una diferencia de potencial. Este es de manera general el proceso que ocurre en

las centrales termoeléctricas, en donde se transforma la energía mecánica en electricidad. En México, el 66 % de la capacidad total instalada para la generación de energía eléctrica proviene principalmente de las centrales termoeléctricas (SENER, 2015).

A mayor demanda de energía eléctrica, mayor consumo de combustibles fósiles en las centrales termoeléctricas del país. Tan sólo en el año 2016, se consumieron 16'016,786,560 de metros cúbicos (m<sup>3</sup>) de gas natural, se combusionó alrededor de 16'233,544,855 kilogramos (kg) de carbón y se emplearon 6'525,212,982 litros (L) de combustóleo (SENER, 2016). Esta producción de electricidad impactó en la generación de GEI con alrededor de 127 millones de t de CO<sub>2</sub>eq, que corresponde al 24 % de las emisiones totales a nivel nacional (INECC, 2018). Las emisiones reportadas para el sector eléctrico superan al sector industrial, incluso al residencial. Esta energía de la que hablamos es la misma que se consume al prender un foco, al cargar un teléfono portátil, al encender una computadora, entre otros.

Lo anterior no responde a un modelo de sustentabilidad que asegure un ambiente sano para las generaciones futuras. El actual esquema de consumismo y hábitos equivocados en el uso de la energía que llevamos a cabo en el hogar, escuelas y centros de trabajo acentúan esta problemática. En este contexto, la presente investigación toma como modelo de estudio el campus universitario, para evaluar el impacto que tienen el consumo energético en las emisiones de GEI, y proponer medidas de ahorro y eficiencia que puedan aplicarse a nuestro quehacer diario en la promoción de una cultura para la gestión integral de la energía y la preservación del medio ambiente.



**Figura 1.** Matriz energética para la producción de electricidad en México, 2015 (Fuente: SENER, 2015).

## ÁREA Y MUESTRA DE ESTUDIO

El campus universitario correspondiente a la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) es el área de estudio. La muestra comprendió la medición *in situ* de 6,920 equipos eléctricos dispuestos en las 23 principales instalaciones de la DACBIOL, en el período correspondiente al ciclo corto escolar agosto-diciembre 2017 (tabla 1 y 2). Otras instalaciones dentro del campus como la planta de tratamiento de agua, el sistema biobolsa, el edificio de fauna, la plaza cívica, las áreas deportivas y la subestación eléctrica serán consideradas en una segunda etapa del proyecto.

Como estrategia para evaluar el impacto del consumo de la energía por tipo de actividad en el campus universitario se

propusieron dos categorías: *edificios para docencia* y *edificios de usos múltiples*. La primera categoría se refiere específicamente a las aulas destinadas a la docencia, mientras que la segunda, engloba los laboratorios, talleres, oficinas administrativas, cafeterías, herbario y biblioteca. Esta categorización, también incluyó una clasificación del consumo eléctrico por el tipo de aplicación o uso final. Los usos finales de la energía eléctrica considerados en este estudio son: iluminación, climatización, refrigeración, equipos de cómputo y misceláneos (motores, equipo de laboratorio, equipos electrónicos). El total del área de estudio evaluada fue de 14,440 m<sup>2</sup>.

**Tabla 1.**

Muestra de estudio (equipos eléctricos inventariados).

<b>Equipos eléctricos inventariados</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de equipos</b>
Aires acondicionados	Incluye paquetes de aire acondicionado, mini split, climas de ventana y con sistema inverter.	280
Luminarias	Lámparas LED, fluorescente, reflectores, bombillas.	996
Refrigeradores	Frigobar, refrigeradores y neveras.	102
Equipos de cómputo	Equipos de escritorios y portátiles (laptops) tanto institucionales como particulares.	558
Misceláneos	Horno de microondas, cafeteras, celulares, tabletas, equipo de laboratorio, impresoras, scanners, teléfonos, módems, equipo de comunicación, proyectores.	4,833
Ventiladores	Ventiladores de techo y de pedestal (piso).	151
<b>TOTAL</b>		<b>6,920</b>

**Tabla 2.**

Superficie y número de instalaciones muestreadas en el levantamiento eléctrico.

<b>Edificios</b>	<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje del área con respecto al área total</b>
1. Dirección	264	1.83
2. Herbario	1,080	7.49
3. CICART	3,960	27.48
4. Edificio A	661	4.59
5. Edificio B	606	4.21
6. Edificio C	620	4.30
7. Edificio D	612	4.25
8. Edificio E	212	1.47
9. Edificio F	369	2.56
10. Edificio H	625	4.34
11. Posgrado	460	3.19
12. Biblioteca	838	5.82
13. Multifuncional	1,580	10.96
14. CBIOT	590	4.09
15. Cocodrilos		0.00
16. Laboratorio SIG	404	2.80
17. Aviario	49	0.34
18. Manatiario	20	0.14
19. Tortugas	185	1.28
20. Acuicultura	395	2.74
21. Vivero SERNAPAM	790	5.48
22. Catre	47	0.33
23. Cafetería	43	0.30
Área total	14,410	100

## **METODOLOGÍA**

### ***Levantamiento eléctrico***

Una auditoría energética, nivel 1 y 2 se llevó a cabo en los diferentes edificios e instalaciones del campus universitario para conocer el consumo de la energía eléctrica por edificios y por uso final. Dicha auditoría consistió en la inspección, estudio y análisis cualitativo y cuantitativo de la dinámica energética. Previamente, 12 estudiantes universitarios fueron capacitados y coordinados por dos maestros en eficiencia energética con experiencia en auditorías energéticas.

La auditoría energética permitió recopilar información del consumo eléctrico en voltaje (Volts), amperaje (Ampere), el tiempo de uso por horas al día/mes, la marca y el modelo de los diferentes equipos o aparatos eléctricos, así como la superficie ( $m^2$ ) en donde la energía es suministrada. Con la información técnica recabada se procedió a calcular la potencia (watts) y el consumo (kilowatt-horas) de la energía, así como un indicador de eficiencia energética en  $kWh/m^2$ .

### ***Censo eléctrico***

El censo de equipos eléctricos dentro de las instalaciones de la DACBiol se realizó a partir de la muestra de 6,920 equipos dispuestos en las instalaciones de la División. Para conocer el comportamiento energético en los edificios fue necesario llevar a cabo mediciones con equipos especializados como: medidores de corriente, multímetro digital con gancho, amperímetros, termómetros, voltímetro, probador de circuito e indicador de

voltaje, con los cuales se pudo medir en tiempo real variables eléctricas como amperaje, voltaje y potencia.

A partir de este censo, el tipo, las características y la cantidad de equipos eléctricos fueron cuantificados y documentados. Esta información fue acompañada del rango de horarios de operación de los equipos instalados y en funcionamiento. Para la estimación del número de horas de uso de cada uno de estos equipos se tomó en cuenta las opiniones expresadas por los entrevistados durante el levantamiento, así como los datos sobre cantidad de días al mes de operación.

Es importante mencionar que la estimación del número de horas es una cantidad que impacta directamente en el consumo final de electricidad, por lo que el cálculo de la incertidumbre fue indispensable.

### ***Análisis del consumo de energía***

Una vez terminado el censo eléctrico, se generó una base de datos sobre equipos eléctricos con información procesada y desagregada para calcular la carga conectada, el consumo mensual en kWh y se realizó la segregación del consumo energético por tipo de instalación y uso final.

Con el fin de identificar y comparar el consumo de la energía en los diferentes edificios se determinó un indicador de eficiencia energética. Para lo anterior, se realizó una búsqueda de información técnica (*data sheet*) de los equipos inventariados para conocer el voltaje y amperaje de operación de fábrica. Dicho valor fue comparado con el voltaje y amperaje obtenido de las mediciones en el levantamiento. La información resultante fue

agrupada de acuerdo a las dos categorías (edificios para docencia y edificios de usos múltiples) y comparada con respecto a la media de consumo eléctrico facturado ante lo que reporta la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

### ***Aplicación de la encuesta.***

Se diseñó y aplicó una encuesta basada en estándares de referencia sobre los hábitos y uso de la energía para la DACBiol, así como de la percepción de la eficiencia energética. El universo de estudio corresponde a la comunidad universitaria, integrada principalmente por estudiantes. La estrategia para la aplicación de dicha encuesta fue a través del portal “*surveymonkey*”, mediante el cual los entrevistados pueden resolver un cuestionario desde su dispositivo móvil, o computadora. Con lo anterior, se aseguró una muestra de 220 encuestados que corresponde al 11.26 % del universo total.

### ***Cálculo de las Emisiones de GEI por consumo eléctrico***

Con los datos sobre consumo eléctrico del campus se calcularon las emisiones de GEI empleando la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2006). Las emisiones se reportaron en CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq), generadas por la combustión de combustibles fósiles para producción de electricidad (IPCC, 2006).

$$CO_{2e} = \left[ \sum_j F_j \cdot EF_j \cdot PC \right] \cdot PCG_{CO_2}$$

**Ecuación 1.** Emisiones de CO<sub>2</sub>e por consumo eléctrico

En donde:

$F_j$ : Cantidad de combustible consumido  $j$ .

$EF_j$ : Factor de emisión para combustible,  $j$ .

$PC$ : Calor de combustión combustible,  $j$ .

$PCG_{CO_2}$ : Potencial de calentamiento global del  $CO_2$ eq.

El factor de emisión empleado para la ecuación 1 responde a la siguiente expresión matemática (Escobedo et al., 2014):

$$FE_{i,t} = \frac{\sum C_{j,t} FE_{j,i}}{GE_t (1 - FP)_t}$$

**Ecuación 2.** Factor de emisión por consumo eléctrico

En donde:

$C_{j,t}$ : Consumo de combustible  $j$  para generación de electricidad en el año,  $t$ .

$FE_{i,j}$ : Factor de emisión de GEI  $i$  por combustible,  $j$ .

$GE_t$ : Producción bruta de eléctrica en año,  $t$ .

$FP$ : Pérdidas por transmisión y distribución en año,  $t$ .

Finalmente, con el factor de emisión por consumo eléctrico calculado tomando los datos sobre la generación bruta de electricidad en el año (MWh), el porcentaje (%) de consumo proveniente de combustibles fósiles y el factor de pérdidas por distribución y transportación, se procedió a realizar una comparación con el factor de emisión reportado para el Registro Nacional de Emisiones por parte de la SEMARNAT-CFE (0.458 t  $CO_2$ eq/MWh). Finalmente, se analizó el impacto del consumo eléctrico en la generación de GEI.

### ***Propuesta de ahorro y eficiencia energética***

Derivado del diagnóstico energético se detectaron áreas de oportunidad para ser atendidas, por lo que medidas de ahorro y eficiencia energética se propusieron con base a las normas oficiales mexicanas: NOM-001 SEDE 2005 y NOM 007-SENER 2004. La primera contempla las especificaciones y los lineamientos mínimos que deben satisfacer las instalaciones eléctricas con la finalidad de garantizar la seguridad de los usuarios y sus propiedades; la segunda se refiere a los niveles de eficiencia energética en términos de densidad de potencia eléctrica en alumbrado en edificios no residenciales.

## **RESULTADOS**

### **Diagnóstico del consumo eléctrico en la DACBiol**

El suministro eléctrico en la DACBiol ocurre a través de las redes de distribución a cargo de la Comisión Federal de Electricidad mediante la red aérea trifásica (3 fases) de 13.2 kV. Esta energía pasa a través de un medidor que contabiliza el flujo eléctrico que es consumido dentro de las instalaciones del campus. Posteriormente, pasa a través de 4 transformadores de distribución, propiedad de la universidad, que en su conjunto suman una capacidad instalada de 2.1 MVA y reducen el nivel de tensión a 220/127 V, que es el voltaje utilizado para el funcionamiento de los aparatos y equipos eléctricos.

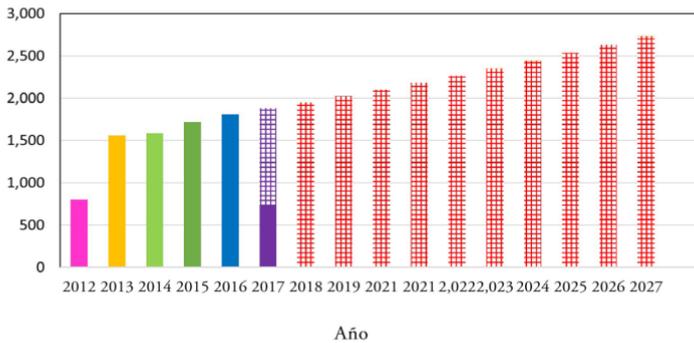
El pago de las facturaciones del consumo eléctrico es realizado por la administración central de la universidad. La tarifa asignada por el suministrador del servicio es denominada HM, regulada a nivel nacional. La clave de la tarifa HM se deriva de la reducción de las palabras Horaria en Media tensión, y se refiere al consumo a través de las redes de media tensión, que para este caso es de 13,200 Volts (o 13.2 kV). El parámetro de demanda eléctrica es registrado cada hora durante el período que dura la facturación. Recientemente, se han integrado algunos cambios en la legislación mexicana relacionados a la denominación de las tarifas, por lo que los usuarios de este tipo de tarifa pasaran a ser GDMTH, por sus siglas, Gran Demanda (mayor a 25 kW-mes) en Media Tensión horaria (CFE, 2017).

Del análisis prospectivo del consumo histórico de la energía en la DACBiol realizado con base en las facturas eléctricas de la CFE del período 2012-2017 se prevé un aumento del 75.32 %, es decir 2'727,644 kWh a consumirse para el 2027 (figura 2). De continuar a este ritmo de consumo del recurso eléctrico tendríamos no sólo un aumento en las facturaciones de energía sino contribuiríamos aún más con las emisiones de GEI. Además, este análisis prospectivo pone en evidencia la necesidad de cuantificar el consumo de la energía y su relación con las emisiones, de tal forma que de sustento a la importancia de propiciar una cultura en la gestión integral del recurso energético que incida en los buenos hábitos en el uso de la energía.

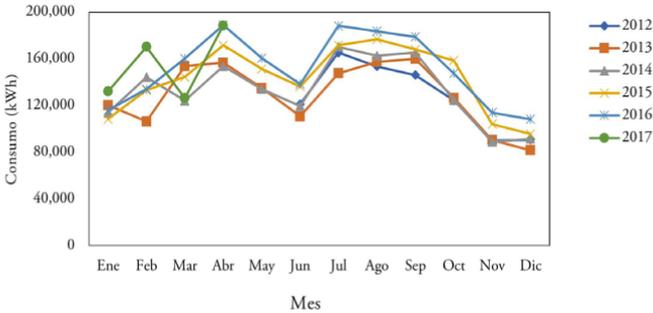
Por otra parte, las características del clima en el estado de Tabasco (trópico húmedo) con una media anual de 27 °C, una temperatura máxima promedio de 36 °C y una temperatura mínima promedio de 18.5 °C (INEGI, 2015) pueden tener un

impacto en el incremento del consumo eléctrico. Lo anterior, discrepa con lo reportado en otras investigaciones en donde el clima no es un factor condicionante (Azucena et al., 2014b). La figura 3 muestra el comportamiento del consumo eléctrico a lo largo de los años en la DACBiol, se observa un aumento en el consumo para los meses de abril-mayo y junio, este comportamiento va de la mano con el registro de las mayores temperaturas en la entidad durante el año.

Las elevadas temperaturas que se registran, y su consecuente aumento en el consumo de la energía, provocan a la vez el calentamiento de las redes eléctricas, lo que se traduce en una mayor pérdida de la energía eléctrica por medio del calor producido por el efecto Joule en los conductores, propiciado una mayor generación en las centrales eléctricas, afectando en el consumo de combustibles fósiles.



**Figura 2.** Prospectiva del consumo energético en la DACBiol.



**Figura 3.** Consumo histórico anual de electricidad en la DACBiol.

***Comparativo del consumo eléctrico por categoría en la DACBiol***

La tabla 3 presenta los valores de consumo eléctrico por uso final de la energía en la categoría edificio para docencia. Se observa que en estos espacios el requerimiento principal es para energizar los aires acondicionados con 82.14 % impactando significativamente en el consumo eléctrico total, seguido de la iluminación y misceláneos. Derivado de este comparativo del uso final de la energía en los edificios de docencia, estudiar de manera puntual el rendimiento y el buen uso de los equipos de aire acondicionado es entonces un área de oportunidad a desarrollar como objeto de estudio.

La tabla 4 presenta como se distribuye el consumo eléctrico por uso final en la categoría edificios de usos múltiples. Al igual que en la categoría de edificios para docencia, el principal uso de la energía se destina a los aires acondicionados. Sin embargo, el valor del consumo registrado para climatización es menor con 43,507 kWh, correspondiente al 33.67 %. En esta categoría, el

porcentaje de uso final de los equipos de aire acondicionado no llega a ocupar el 50 % sino que además existen otros equipos eléctricos que también demandan energía de manera significativa como son los equipos de laboratorio que están considerados dentro de la clasificación de misceláneos. La iluminación es el uso final que menor energía consume con el 5.91 %.

De manera general, el uso de la energía eléctrica en todas las edificaciones de la DACBiol se distribuye como lo muestra la figura 4. El mayor consumo energético lo demandan los aires acondicionados con 47.63 % seguido de misceláneos y equipos de cómputo. Es importante plantear medidas correctivas para el funcionamiento de los aires acondicionado y equipos de cómputo, principalmente.

El consumo eléctrico respecto al área superficial nos da una medida de la eficiencia energética. Dicho valor nos permite conocer cuanta energía se está consumiendo por  $m^2$ , de tal forma podemos comparar los distintos edificios respecto al promedio general. La tabla 5 nos muestra este indicador para todos los edificios considerados en el levantamiento. El promedio de consumo eléctrico por área superficial es de  $12.57 \text{ kWh/m}^2$  al mes.

Haciendo un comparativo del valor de eficiencia energética por las categorías establecidas, los edificios de docencia los cuales están representados por los edificios (A, B, D, E y F) se encuentran por encima del valor medio del indicador de eficiencia con un  $21.25 \text{ kWh/m}^2$  (tabla 6). Este valor representa un aumento del 69.05 % en el consumo de la energía. De nuevo este comportamiento obedece al consumo eléctrico en los aires acondicionados por lo que es un punto relevante para estudiar y tomar acciones de mejoras en eficiencia energética.

Una segunda etapa del proyecto contempla llevar a cabo el comparativo de consumo por instalación destinada a fines administrativos, dirección, posgrado, laboratorios, biblioteca, entre otros. Además, analizar los datos provenientes de las mediciones con el equipo analizador de redes, con el cual se obtuvieron los valores de voltaje por fase, voltaje promedio e información sobre el equilibrio de las fases.

**Tabla 3.**

Uso final del consumo eléctrico en la categoría edificios para docencia.

Climatización	Iluminación	Ventiladores	Misceláneos*	Consumo eléctrico total*
<b>(kWh/mes)</b>				
42,935.48	4,311.91	1,354.54	3,670.20	52,272.12
82.14%	8.25%	2.59	7.02%	100%

**Tabla 4.**

Uso final del consumo eléctrico en la categoría edificios de usos múltiples

Climatización	Iluminación	Refrigeración	Equipo de cómputo	Misceláneos	Consumo eléctrico total
<b>kWh</b>					
43,507.19	7,633.22	18,012.25	31,588.21	28,479.45	129,220.32
33.67%	5.91%	13.94%	24.45%	22.04%	100%

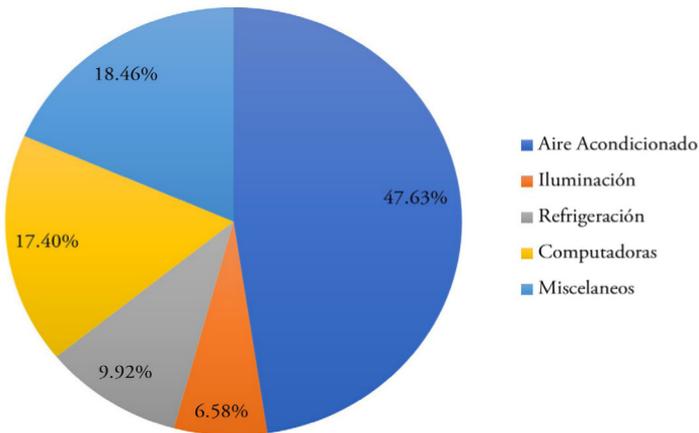
**Tabla 5.**  
Indicador de eficiencia energética en los edificios de la DACBioI  
(kWh/m<sup>2</sup>) al mes

Edificios	kWh/mes	%	m <sup>2</sup>	% área	kWh/m <sup>2</sup>
Dirección	34,74.21	1.91%	264	1.83%	13.16
Herbario	10,242.67	5.64%	1080	7.48%	9.48
CICART	55,680.56	30.68%	3960	27.42%	14.06
Edificio A	14,442.88	7.96%	661	4.58%	21.85
Edificio B	12,354.24	6.81%	606	4.20%	20.39
Edificio C	1,417.04	0.78%	620	4.29%	2.29
Edificio D	13,230.02	7.29%	612	4.24%	21.62
Edificio E	6,183.59	3.41%	212	1.47%	29.17
Edificio F	6,061.40	3.34%	369	2.56%	16.43
Edificio H	18,875.86	10.40%	625	4.33%	30.20
Posgrado	3,355.40	1.85%	460	3.19%	7.29
Biblioteca	9,622.25	5.30%	838	5.80%	11.48
Multifuncional	4,659.92	2.57%	1580	10.94%	2.95
CBIOT	501.16	0.28%	590	4.09%	0.85
Cocodrilos	1,547.42	0.85%	30	0.21%	51.58
Laboratorio SIG	5,697.44	3.14%	404	2.80%	14.10
Aviario	1,743.00	0.96%	49	0.34%	35.57
Manatiario	483.11	0.27%	20	0.14%	24.16
Tortugas	1,012.23	0.56%	185	1.28%	5.47
Acuicultura	7,864.72	4.33%	395	2.74%	19.91
Vivero	412.26	0.23%	790	5.47%	0.52
CATRE	37.36	0.02%	47	0.33%	0.79
Cafetería	2,587.91	1.43%	43	0.30%	60.18
Total	181,486.63	1.00	14,440.00	1.00	12.57

**Tabla 6.**

Comparativo de eficiencia energética entre los edificios de docencia y los de usos múltiples considerando el área superficial (kWh/m<sup>2</sup>).

Edificios	kWh/mes	%	m <sup>2</sup>	% área	kWh/m <sup>2</sup>
De docencia	52,272.13	28.80%	2,460	17.04%	21.25
Usos múltiples	129,214.52	71.20%	11,980	82.96%	10.79
Total	181,486.65	100.00%	14,440	100.00%	12.57



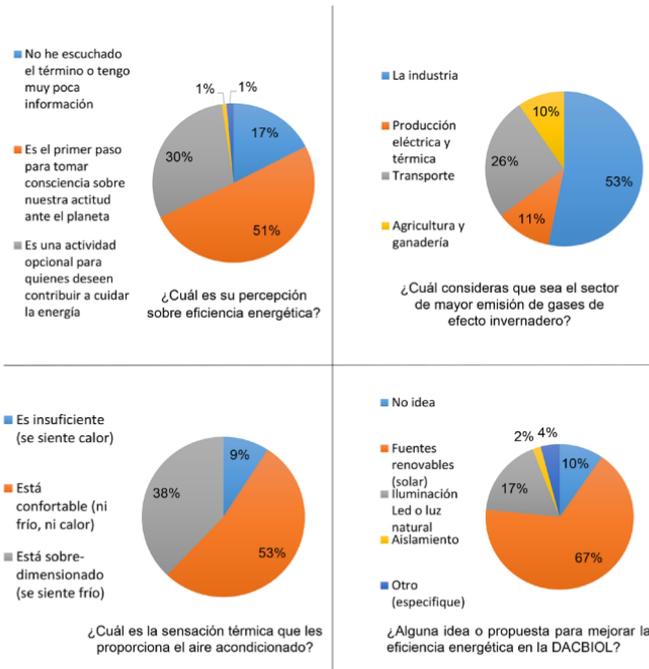
**Figura 4.** Distribución del consumo de la electricidad por uso final en la DACBiol.

***Percepción del uso de la energía y su eficiencia***

Derivado de las encuestas aplicadas a la comunidad universitaria para conocer la percepción sobre el uso de la energía y su eficiencia, las principales respuestas se muestran a continuación (figura 5).

Con base en las respuestas de los entrevistados, sobre la relación del cambio climático con las emisiones de GEI, la mayoría asume que los grandes responsables en estos temas son el sector industrial y el transporte. Dejando de lado, las emisiones de GEI provenientes del sector residencial (casas habitaciones, centros de trabajo, etcétera) y servicios, los cuales son también fuertes contribuyentes. La población encuestada en la DACBiol considera que la industria es el principal contribuidor a las emisiones seguido del transporte, con el 53 % y el 26 %, respectivamente. Sobre la opinión respecto a la sensación térmica que proporciona el aire acondicionado, un 38 % responde sentir frío por el sobredimensionamiento de estos. Dichos resultados tienen relación con el consumo energético registrado para los aires acondicionados en el campus, el cual asciende a 86,442.19 kWh al mes, siendo los equipos que mayor energía consumen.

Por otro lado, es de resaltar la percepción de la comunidad universitaria de la DACBiol, quienes, a pesar de estar orientados a las ciencias ambientales, muestran un desconocimiento sobre la importancia de la eficiencia energética como medida de ahorro en el consumo de la electricidad. Si bien es cierto que existen otras fuentes alternas de energía a partir de recursos renovables, implementar en medidas de ahorro y eficiencia energética debe ser el primer paso cuando de ahorro de energía se habla.



**Figura 5.** Percepción sobre uso de la energía y eficiencia.

Emisiones de GEI en la DACBiol. Las emisiones de GEI provenientes del consumo eléctrico en la DACBiol se cuantificaron con base al Factor de Emisión (FE) previamente calculado. Dicho valor del FE es una medida indirecta de la contribución a las emisiones por la energía eléctrica consumida. El factor de emisión calculado en este estudio fue de 0.555 kg CO<sub>2</sub>eq/TJ. Su estimación toma como referencia el consumo total de combustibles y la generación de electricidad neta distribuida por el Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

La tabla 7 muestra un comparativo en el cálculo del factor de emisión usando los valores de combustibles empleados en la generación eléctrica reportados en México por la SEMARNAT, los proveídos por el IPCC (2006) y los calculados en el presente estudio. Se observa que el valor calculado para el factor de emisión se encuentra en el rango de los valores de los factores de emisión promedio en los años 2000 y 2013 (GEI México, 2013). Se sugiere como perspectivas de este análisis preliminar de emisiones de GEI, llevar a cabo el cálculo de la incertidumbre para los factores de emisión y subsecuentemente para la estimación de las emisiones de GEI.

Considerando el factor de emisión calculado de  $0.555 \text{ t CO}_2\text{eq/MWh}$  el total de las emisiones de GEI derivados del consumo de energía eléctrica en la DACBiol corresponde a  $946,672 \text{ t CO}_2\text{eq/MWh}$  para el año 2017. La figura 6 nos muestra las emisiones de GEI, con su desviación típica, cuantificadas empleando el factor de emisión calculado para este estudio y en comparación con el reportado en la literatura de  $0.458 \text{ t CO}_2\text{eq/MWh}$  (figura 6) (SEMARNAT, 2016). Ambas estimaciones se calcularon considerando un consumo eléctrico de  $1'703,914 \text{ kWh}$  en la DACBiol para el año 2017.

Es importante mencionar que las mediciones del levantamiento eléctrico corresponden al ciclo corto. El resto del año se extrapoló, por lo que en estudios futuros se recomienda evaluar el consumo energético a lo largo del año. Otro punto por resaltar, con respecto a las emisiones reportadas, es que se estimaron en términos de  $\text{CO}_2\text{eq}$ . En México, el 99.5 % de las emisiones totales de GEI en centrales eléctricas corresponden principalmente a este gas, por lo que las emisiones de  $\text{CH}_4$  y

N<sub>2</sub>O fueron omitidas.

Una desagregación de las emisiones de GEI que se producen en promedio al mes en los diferentes edificios se presenta en la figura 7. El edificio del CICART, es quien contribuye a las mayores emisiones con alrededor de 30.9 t de CO<sub>2</sub>eq, seguido del edificio H. Una característica en común de estos edificios es el alto número de equipos especializados. De acuerdo con el censo eléctrico, el CICART y el edificio H se contabilizan 693 y 159 equipos electrónicos, respectivamente. En dicha contabilización se encuentran equipos que son de uso frecuente y que demandan un alto consumo energético.

Con respecto al uso final de la energía eléctrica, la figura 8 muestra que la climatización es el uso final de mayor consumo energético y que por lo tanto contribuye de manera mayoritaria a las emisiones de GEI en la DACBiol.

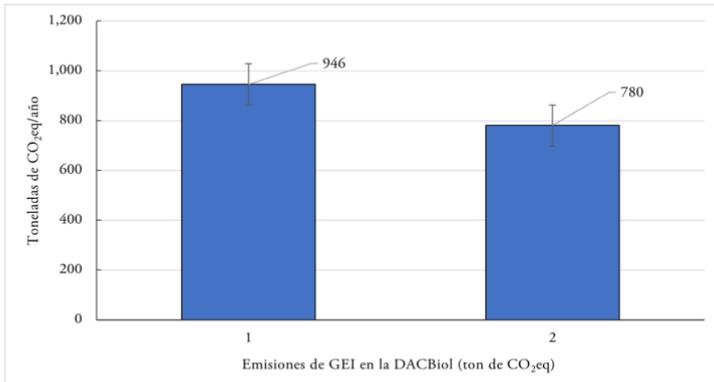
La figura 9 nos muestra el comportamiento de las emisiones de GEI a lo largo del año 2017. Se observa valores máximos y mínimos de emisiones en el orden 104 y de 40.40 t de CO<sub>2</sub>eq, respectivamente. Con un valor promedio de 65 t de CO<sub>2</sub>eq emitidas al mes por uso final de la energía. Los valores de emisiones de GEI por consumo eléctrico son inferiores comparados a los reportados en otros estudios sobre emisiones en universidades, puesto que se trata de un estudio a nivel campus, por lo tanto, es deseable escalar el presente estudio a nivel institucional para posteriormente poder realizar comparaciones con otros estudios.

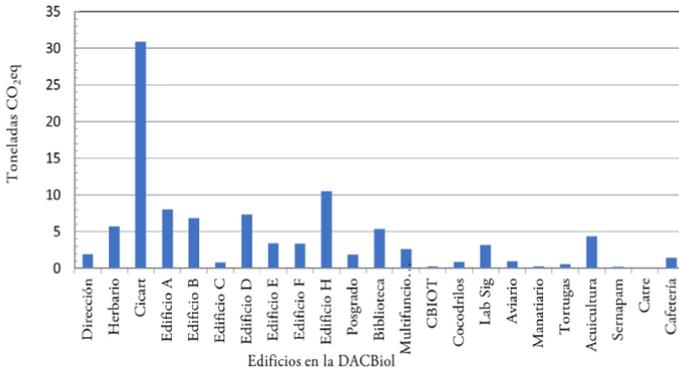
**Tabla 7.**

Factores de emisión eléctrica por tipo de combustible

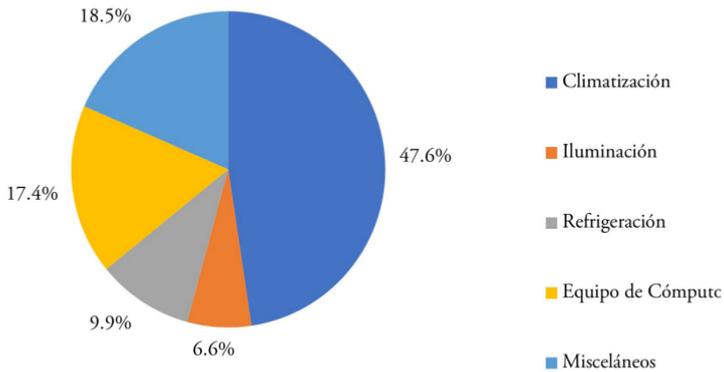
Combustible	Factor de emisión (kg CO <sub>2</sub> eq/TJ) reportado por SEMARNAT-CFE (2015)	Factor de emisión (kg CO <sub>2</sub> eq/TJ) reportado IPCC (2006)	Factor de emisión (kg CO <sub>2</sub> eq/TJ) calculado en este estudio
Gas natural	N/D	56,100	57,755.93
Combustóleo	N/D	77,400	79,450.29
Carbón	N/D	94,600	127,907.45
Diesel	N/D	74,100	72,850.77
Total (ton CO <sub>2</sub> eq/MWh)	0.458	0.525	0.555

\*N/D: datos no disponibles.

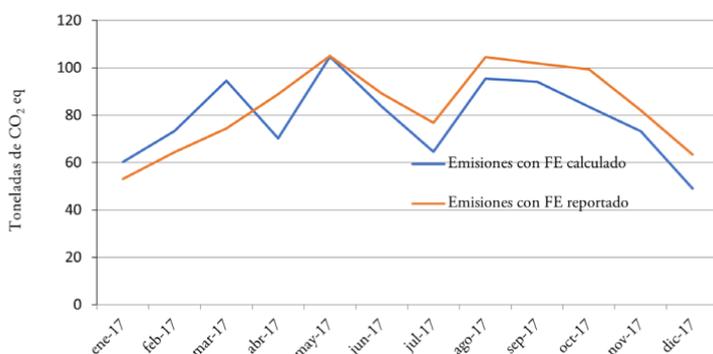
**Figura 6.** Emisiones de GEI en la DACBiol considerando diferentes FE para el 2017.



**Figura 7.** Emisiones de GEI promedio mensual por tipo de edificio en la DACBiol para el año 2017.



**Figura 8.** Distribución de las emisiones de GEI (promedio mensual) por uso final de la energía la DACBiol para el año 2017.



**Figura 9.** Emisiones de GEI por uso final de la energía en la DACBiol, empleando diferentes FE, durante el año 2017.

### Propuesta de ahorro y eficiencia energética en la DACBiol

La cuantificación del consumo final de la energía en la DACBiol permitió identificar áreas de oportunidad para la gestión integral de la misma a través del fomento de una cultura de la energía empleando la eficiencia energética como estrategia. La eficiencia energética es hoy en día, el camino hacia la transición energética. Su promoción y aplicación permite un uso racional de la energía.

A continuación, la tabla 8 presenta los objetivos, actividades, estrategias y metas planteadas como propuestas para la implementación de medidas correctivas y acciones encaminadas al ahorro y eficiencia energética en la DACBiol.

**Tabla 8.** Propuesta para la implementación de medidas correctivas y acciones encaminadas al ahorro y eficiencia energética en la DACBiol.

Categoría de análisis	Objetivos	Actividades / estrategias	Metas	Plazo		Responsables
				C	M	
Consumo de energía eléctrica	Llevar a cabo un diagnóstico energético para conocer el flujo y dinámica de la energía en la DACBiol.	Identificación de equipos eléctricos a través de un censo o inventario por uso final de energía y para cada tipo de edificación.	Tener el inventario de más del 90 % de los equipos o aparatos eléctricos empleados en la DACBiol durante un ciclo escolar.	√		Comité de Eficiencia Energética DACBiol
		Capacitación en la realización de auditorías energéticas, herramientas y técnicas para la medición de la energía.	Capacitar al menos 20 estudiantes y profesores en la realización de auditorías energéticas.	√		Comité de Eficiencia Energética DACBiol
Estandarizar los procedimientos y procesos energéticos a través de buenas prácticas o medidas de ahorro y eficiencia que permitan dar respuesta a la reducción del consumo energético como estrategia de mitigación de GEI.	Generación de diagramas energéticos para conocer el balance de los cuadros de cargas (fases) dentro de los tableros eléctricos.	Generación de diagramas energéticos para conocer el balance de los cuadros de cargas (fases) dentro de los tableros eléctricos.	Mantener un mínimo de 10 reportes al año por falla eléctricas de competencia institucional.	√		Comité de Eficiencia Energética DACBiol
	Diseño e implementación de un programa operativo anual sobre medidas de ahorro y eficiencia energética en la DACBiol.	Diseño e implementación de un programa operativo anual sobre medidas de ahorro y eficiencia energética en la DACBiol.	Generación de un programa operativo anual sobre medidas de ahorro y eficiencia energética que permita reducir al menos 3 % el consumo de la energía eléctrica del año 2019 con respecto al año 2018.	√		Comité de Eficiencia Energética DACBiol
Estandarizar los procedimientos y procesos energéticos a través de buenas prácticas o medidas de ahorro y eficiencia que permitan dar respuesta a la reducción del consumo energético como estrategia de mitigación de GEI.	Cuantificación de las emisiones de GEI derivadas del consumo energético a partir de una metodología validada por el IPCC.	Cuantificación de las emisiones de GEI derivadas del consumo energético a partir de una metodología validada por el IPCC.	Reducir las emisiones a 60 ton CO <sub>2</sub> e al mes por uso final de la energía eléctrica en la DACBiol.			
	Evaluación del factor de potencia e instalación de banco de capacitores como una medida para mejorar la eficiencia en el uso de la energía.	Evaluación del factor de potencia e instalación de banco de capacitores como una medida para mejorar la eficiencia en el uso de la energía.	Contribuir con al menos un 4 % en la reducción del gasto presupuestal anual por consumo de energía los primeros 2 años de la implementación del programa operativo.			

Categoría de análisis	Objetivos	Actividades / estrategias	Metas	Plazo'		Responsables
				C	M	
	Promover y difundir una cultura del buen uso de la energía y su impacto ambiental en la DACBiol.	<p>Diseño y desarrollo de una campaña de concientización ambiental respecto al uso de la energía (carreles, mascota, slogan, etcétera).</p> <p>Propuesta y creación de "guardianes de la energía" en la DACBiol como agentes de cambio para socializar el buen uso y salvaguarda del recurso energético.</p> <p>Socialización del programa operativo anual de la energía a través de la impartición de cursos, seminarios, foros y talleres.</p> <p>Contribuir a sentar las bases para una política pública sobre la gestión integral de la energía en las instituciones de educación pública (IEP) para Tabasco.</p>	<p>466ación de 1 campaña de concientización ambiental sobre el uso de la energía dirigida a la comunidad de la DACBiol a inicio de cada ciclo escolar.</p> <p>Integración de "guardianes de la energía" a partir de al menos 10 estudiantes voluntarios de las distintas carreras de la DACBiol.</p> <p>Ejecución de al menos un taller, foro o seminario al año alusivo a la gestión integral del recurso energético.</p> <p>Socializar los resultados a través de artículos de divulgación en el tema de políticas públicas y energía.</p>	√		Comité de Eficiencia Energética DACBiol. Guardianes de la Energía DACBiol.
	Implementar un sistema de control y seguimiento relacionado al consumo de la energía en la DACBiol.	<p>Integración de un comité de Eficiencia Energética de competencia divisional para el control y seguimiento del programa operativo sobre consumo energético.</p> <p>Análisis y monitoreo del índice de consumo de energía (facturaciones eléctricas) y otras variables eléctricas.</p> <p>Capacitación continua de los miembros del comité.</p> <p>Implementar medidas preventivas y correctivas en los sistemas energéticos dentro de la DACBiol</p>	<p>Generación de un reporte de las actividades realizadas por el comité de eficiencia energética de manera anual.</p> <p>Al menos una capacitación en temas de consumo responsable y eficiencia energética a miembros del comité de Eficiencia Energética.</p>	√		Comité de Eficiencia Energética DACBiol

Categoría de análisis	Objetivos	Actividades / estrategias	Metas	Plazo'		Responsables
				C	M	
	Identificar y priorizar las acciones para la implementación de tecnologías basadas en fuentes renovables que contribuyan a mejorar el desempeño energético con base en el potencial de ahorro y nivel de inversión requerido.	<p>Estudio costo-beneficio sobre tecnologías energéticas basadas en fuentes renovables de energía en la DACBiol.</p> <p>Diseño e implementación de sistemas o tecnologías energéticas basados en fuentes renovables de energía.</p> <p>Implementación de sistemas de hibridación de tecnologías o de cogeneración.</p>	<p>Generación de una cartera de proyectos sobre el costo-beneficio de tecnologías energéticas renovables para la DACBiol.</p> <p>Instalación y operación de al menos 1 sistema energético basados en fuentes renovables (paneles fotovoltaicos, calentadores solares, equipos chiller, generadores a partir de biogás, etcétera) que se adapte a las necesidades y recursos de la unidad.</p> <p>Instalación y operación de un sistema híbrido de energía.</p>		√	Comité de Eficiencia Energética DACBiol

Se recomienda ampliamente priorizar la implementación de aquellas medidas de eficiencia energética que requieren nula o baja inversión. De manera específica, se enlistan algunas prácticas a desarrollar dentro del programa anteriormente descrito.

**Tabla 9.**

Prácticas de ahorro y eficiencia energética para la DACBiol.

<b>Medidas de ahorro y eficiencia energética para la DACBiol</b>	
Instalación	<p>Revisar el estado de los conductores y equipos eléctricos mediante programas anuales de mantenimiento donde se contemple el reemplazo de los que se encuentren dañados o cerca del término de su vida útil.</p> <p>Revisar el balance de los cuadros de cargas a fin de no tener sobrecalentamiento en algunas de las fases dentro de los tableros eléctricos.</p>
Equipos de cómputo	<p>Programar el equipo en modo ahorro de energía.</p> <p>Apagar el monitor cuando se encuentre en horario de comida o lejos de este.</p> <p>Apagar el equipo de cómputo por completo al término de la jornada.</p>
Luminarias	<p>Sustituir luminarias obsoletas, ineficientes o no sustentables por equipo de menor consumo eléctrico tipo LED.</p> <p>Reubicar y limpiar luminarias.</p> <p>Apagar lámparas en horario de comida o reducir su uso aprovechando la luz natural.</p> <p>Instalar detectores de presencia en lugares donde sea factible, por ejemplo, sanitarios.</p>

<b>Medidas de ahorro y eficiencia energética para la DACBiol</b>	
Aires acondicionados	<p>Sustitución de equipos de aire acondicionado con tecnología obsoleta por tecnología “inverter” u otra con mayores rendimientos.</p> <p>Limpia regularmente los filtros de los equipos de A/C.</p> <p>Regular la temperatura de uso a 24 °C (temperatura confort).</p> <p>Evitar el uso cuando la temperatura ambiente esté por debajo de los 22 °C.</p> <p>Al apagar los equipos en fines de semanas, vacaciones o espacios prolongados, también bajar el interruptor termomagnético, para evitar el consumo en “stand by”.</p> <p>Adecuar los horarios de trabajo de tal manera que se utilicen menos equipos eléctricos durante el período punta.</p> <p>Cuidar mantener puertas y ventanas cerradas durante su uso.</p>
Motores	<p>Cambio de equipos con baja eficiencia a equipos de alta eficiencia.</p> <p>Usar solo un equipo si se puede realizar el trabajo necesario en caso de que existan más.</p> <p>Desconectar cuando éstos no se ocupen.</p>
Otras	<p>Mantener cerrada la puerta en su mayoría de tiempo mientras el equipo AC esté en funcionamiento.</p> <p>Evitar dejar conectado el cargador del celular sin el equipo cargando.</p> <p>Organizar un horario de encendido y apagado del A/C que vaya de acuerdo con los horarios establecidos para cada ciclo escolar, sería deseable automatizar su encendido con una estación domótica.</p> <p>Cuidar de los árboles alrededor de edificios que proveen sombra, lo cual reduce la radiación solar directa en muros y ventanas.</p> <p>Desconectar equipos ociosos.</p>

Como se visualizó en la auditoría energética, los aires acondicionados representan el mayor consumo de energía, por lo que incidir en una mejora en los hábitos en el uso del mismo puede repercutir en la disminución de las emisiones de GEI y subsecuentemente un ahorro en las facturas eléctricas. Por citar un ejemplo, si se analiza y programa el encendido y el apagado de los aires acondicionados en las aulas, se puede disminuir un 33 % la electricidad consumida, lo cual equivale al 7.81 % del costo total de la energía facturada ante la CFE. Lo que podría verse reflejado en un ahorro con un impacto beneficioso al medio ambiente.

En general, a partir de la información generada, se pueden sentar las bases para focalizar políticas públicas hacia una gestión integral de la energía. Se sugiere la creación de un comité de la gestión de la energía, en donde se integren de manera multidisciplinaria, la comunidad universitaria a partir de una estrategia adecuada, considerando un alto compromiso ambiental y social.

## **PERSPECTIVAS**

- a) Dar continuidad al estudio y procesamiento de los datos para cada área de trabajo en la DACBiol.
- b) Proponer la creación de un Comité en Eficiencia Energética Universitario. Dicho comité podrá coordinar acciones para implementar medidas de ahorro y eficiencia energética dentro de un Plan de Trabajo relacionado con la gestión integral de la energía.

- c) Construir los diagramas unifilares de la distribución de la energía a fin de detectar los puntos de falla o pérdida de la energía.
- d) Estimar el balance de las cargas, el voltaje promedio y por fase con un equipo analizador de redes.
- e) Analizar la eficiencia energética de las luminarias.
- f) Socializar y gestionar el conocimiento con campañas de sensibilización respecto al consumo eléctrico, las emisiones de GEI y el impacto al medio ambiente.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Carlos Reyes, al Arq. Ramón Delgado Aguirre e Ing. Oscar Peña por su apoyo y asesoría en el préstamo del equipo especializado (analizador de redes) de la Dirección de Eficiencia Energética y Consumo Responsable, por parte de la Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental (SERNAPAM). Al Dr. Rafael Loyola†, Director General y al Dr. Enrique Martínez Meyer, Secretario Académico del Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad (CCGS) por el préstamo del equipo analizador de redes eléctricas.



## REFERENCIAS

- Comisión Federal de Electricidad (2017). Nuevo esquema tarifario. Recuperado de: <https://app.cfe.mx/aplicaciones/CCFE/TarifasCREIndustria/Industria.aspx>
- Escobedo A., B. S., Juárez H., Castillo D., Imaz M. y Sheinbaum C. (2014). Energy consumption and GHG emission scenarios of a university campus in México. *Energy for Sustainable Development*, 18, 49-57.
- Escobedo A. (2014b). Análisis y modelación del consumo de energía eléctrica en edificios universitarios con base a usos finales y parámetros arquitectónicos: caso UNAM-CU. (Tesis doctoral). Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma. México.
- GEI, México (2013). Programa GEI México: factores de emisión. Consultado en: <http://www.geimexico.org/factor.html> Acceso 22/01/18.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2018). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/312045/INEGYCEI6CN\\_26\\_marzo\\_2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/312045/INEGYCEI6CN_26_marzo_2018.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015). Anuario estadístico y geográfico de Tabasco. Gobierno del Estado de Tabasco. Recuperado de: <https://tabasco.gob.mx/sites/all/files/vol/ceieg.tabasco.gob.mx/fi/Anuario%20estad%C3%ADstico%20y%20geogr%C3%A1fico%20de%202015.pdf>
- IPCC. (2016). Guidelines for national greenhouse gas inventories. Good practices guidance energy. Vol.2 Recuperado de: <https://www.ipcc-nggip-iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol2.html>
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005. Diario Oficial de la Federación 2006. Recuperado de: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4913230yfecha=13/03/2006](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4913230yfecha=13/03/2006)

- Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2004. Diario Oficial de la Federación 2014. Recuperado de: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5355593yfecha=07/08/2014yprint=true](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355593yfecha=07/08/2014yprint=true)
- Schuenemeyer J. y Drew L. (2011). Statistics for earth and environmental scientists. New Jersey: John Wiley y Sons.
- Secretaría de Energía. (2015). Prospectiva del Sector eléctrico 2015-2029. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44328/Prospectiva\\_del\\_Sector\\_Electrico.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44328/Prospectiva_del_Sector_Electrico.pdf)
- Secretaría de Energía. (2016). Prospectiva de Gas Natural 2016-2030. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177624/Prospectiva\\_de\\_Gas\\_Natural\\_2016-2030.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177624/Prospectiva_de_Gas_Natural_2016-2030.pdf)
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2016). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Resultados preliminares 2015. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/304573/Factor\\_de\\_Emisi\\_n\\_del\\_Sector\\_El\\_ctrico\\_Nacional\\_1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/304573/Factor_de_Emisi_n_del_Sector_El_ctrico_Nacional_1.pdf)
- Zhang J, Xu L. Energy consumption survey in a university campus with cogeneration system: end-use consumption of electricity part 2. Journal of Environmental Engineering 2012; 77:185–92.

## Capítulo 4

# EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO A PARTIR DE LAS AGUAS RESIDUALES CRUDAS Y PROVENIENTES DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO

Liliana Pampillón González  
Carlos Alberto Torres Balcázar  
Alma Cristhel Gómez Rodríguez  
Izamar Cruz Alegría  
Lesly Yarenci Broque Alvarado  
Nury Francisca Magaña Hernández  
Jesús Alfredo García Ocaña  
Gaspar López Ocaña<sup>1</sup>

## RESUMEN

Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) provenientes de las aguas residuales en la institución fueron cuantificadas a través de la metodología del IPCC del 2006. Para ello se realizó una Auditoría en Gestión Integral del Agua que involucró el censo de 23 edificios. El diagnóstico reveló que para el año 2017 la población fue de 2,231 personas, de las cuales 1,229 tienen actividades diarias por más de ocho horas y alrededor de 1,002 por menos de cuatro horas. La población puede generar

---

<sup>1</sup>Coordinador del Programa de Acción de la DACBiol: tratamiento de aguas; División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Correo electrónico:gaspar.lopez@ujat.mx

hasta 107 m<sup>3</sup>/día de agua residual; sin embargo, en el cárcamo concentrador se cuantificaron sólo 59 m<sup>3</sup>/día. Para ese año sólo se trataron 12.5 m<sup>3</sup>/día (21.2 %) del agua generada, en la planta de Humedales Artificiales, el resto se vertió sin tratamiento. Los principales generadores de aguas residuales son el CICART (20.9 %) y el módulo de baños nuevos (14 %). La mayor emisión de metano (CH<sub>4</sub>) durante el año 2012 con un total de 3,744 kg, y con el control de fugas, para el año 2017 sólo se generaron 1,750 kg, por lo que se indica una reducción del 46.74 %. Del mismo modo, para el 2012 la emisión de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) fue de 401 kg y para el 2017 se generaron 176 kg, lo que representa un 43.9 %. Se prevé incrementar la capacidad de tratamiento y eficiencia de las plantas actuales para reducir al 2020 los GEI por las descargas de aguas residuales.

## INTRODUCCIÓN

Se sabe que se emite metano (CH<sub>4</sub>) durante el manejo y tratamiento de las aguas residuales municipales a través de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. La mayoría de los países desarrollados dependen de sistemas de tratamiento aeróbico centralizado para recolectar y tratar las aguas residuales municipales. Estos sistemas producen pequeñas cantidades de metano, pero también grandes cantidades de biosólidos que podrían provocar altos índices de emisión de CH<sub>4</sub>. En los países en desarrollo donde la recolección y tratamiento de aguas residuales es poca o inexistente, los sistemas tienden a ser anaeróbicos, y, por ende, provocan mayores emisiones de CH<sub>4</sub>. Estos sistemas incluyen lagunas, sistemas sépticos y letrinas. Mundialmente, el CH<sub>4</sub> proveniente de las aguas residuales contribuyó con 512 MMTCO<sub>2</sub>E de las emisiones estimadas de CH<sub>4</sub> en 2010, lo que

representa aproximadamente el 7 % del total de emisiones de  $\text{CH}_4$  a nivel mundial (USEPA, 2012). La figura 1 representa las emisiones de  $\text{CH}_4$  de las aguas residuales municipales en países seleccionados de la Iniciativa Global Metano (IGM). Los países representados son aquellos cuyas emisiones provenientes de las aguas residuales municipales fueron las más altas en 2010.

Se espera que la población mundial crezca a más de nueve mil millones de personas en los próximos 40 años, provocando un creciente uso de agua y consumo de alimentos, así como el aumento en la producción de aguas residuales. Las emisiones de  $\text{CH}_4$  provenientes de las aguas residuales a nivel mundial aumentarán aproximadamente 19 % entre 2010 y 2030. Se prevé que el mayor crecimiento se producirá en África, el Oriente Medio, Asia, y las regiones de Centro y Sur América (USEPA, 2012). Con la entrada en vigor del Protocolo de Kyoto, la comunidad internacional inició la aplicación de las políticas globales para el control y reducción de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) que amenazan el equilibrio térmico del planeta (ONU, 1997; IPCC/OECD, 1997). Los países del anexo B del protocolo y de forma particular los estados miembros de la Unión Europea, se han propuesto la meta de reducir hasta en un 15 % las concentraciones medidas en la atmósfera en 1990, de los tres principales GEI: bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (Changement Climatique, 2000). Para facilitar el cumplimiento de reducción y disminuir los impactos económicos y sociales, el Protocolo establece algunos mecanismos de flexibilidad como el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), que tiene como objetivo promover el desarrollo sostenible en países de economía emergente, a través de la formulación y ejecución de proyectos de captura o reducción de GEI, en sectores industriales y de servicios estratégicos, donde se

genere una ganancia ambiental, social y económica, por la venta de Certificados de Reducción de Emisiones (CREs) (Inventario Nacional de Fuentes y Sumideros de Gases Efecto Invernadero, 1999; Changement Climatique, 2000).

Meneses y Hernández (2004), reportan que «Río Frío» fue la primera Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) a gran escala en el mundo, en utilizar un tratamiento primario tipo UASB (“Upflow Anaerobic Sludge Blanket”). Adicionalmente, esta planta utiliza lagunas facultativas como tratamiento secundario (Schellinkhout y Collazos, 1992). Bajo este esquema de proceso se produce la emisión directa e indirecta de GEI. En primer lugar, se produce una importante cantidad de biogás, constituido mayoritariamente de  $\text{CH}_4$ , gas que tiene un GWP (Global Warming Power) 23 veces superior al del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). El segundo aporte de GEI, proviene de la formación de emisiones indirectas de  $\text{N}_2\text{O}$  asociadas al vertimiento final, dotado con una carga de nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) cercana a los 40 mg/L. En conjunto, el  $\text{CH}_4$  producido y las emisiones asociadas de  $\text{N}_2\text{O}$  en la PTAR Río Frío, representan cerca del 18 % de los GEI atribuibles a sistemas de tratamiento anaerobios y facultativos de aguas domésticas en Colombia (Inventario Nacional de Fuentes y Sumideros de Gases Efecto Invernadero, 1999), argumento que ha servido de soporte para la formulación del proyecto MDL de la PTAR Río Frío, que tiene como objetivo el aprovechamiento del metano y la reducción de los niveles de nitrógeno amoniacal en el vertimiento final hacia el río Frío.

En una PTAR de tipo anaerobio, el biogás es el principal subproducto del proceso, conformado principalmente por  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  y trazas de ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ). El  $\text{CH}_4$  contenido en el

biogás (> 70 %) es una fuente de energía renovable, pero también es una fuente importante de contaminación, por la contribución al efecto invernadero (IPCC/OECD, 1997). Generalmente el  $\text{CH}_4$  se extrae por campanas de los reactores UASB para ser quemado, obteniéndose  $\text{CO}_2$  como producto principal de su combustión. Este  $\text{CO}_2$  no es considerado un GEI ya que no representa una *liberación* adicional de carbono (Changement Climatique, 2000). Una fracción importante de biogás, escapa de los reactores como fugas y otra pasa como hidrocarburo no quemado, por la baja eficiencia de los quemadores, aportando otras fuentes de emisión de  $\text{CH}_4$ . La cantidad de  $\text{CH}_4$  producida en los reactores UASB, puede ser medida mediante un factor de emisión ajustado, a partir de proyecciones hechas con los resultados obtenidos en ensayos de actividad metanogénica (Ince, Ince y Yenigun, 2001). Otras fuentes importantes de emisiones de  $\text{CH}_4$  al interior de una PTAR son los depósitos de material recuperado en el pretratamiento, y los lodos primarios, secundarios y procesos como las lagunas facultativas. La cantidad de  $\text{CH}_4$  producida en lagunas facultativas, se hace representativa en la medida que se trata de una emisión directa y dispersa de difícil captura y aprovechamiento, que aumenta paulatinamente con el tiempo de operación de estas unidades. Las emisiones de  $\text{CH}_4$  en las lagunas facultativas, se determina utilizando el factor de emisión característico,  $\text{FE} = 0.22 \text{ kt } \text{CH}_4/\text{kt DBO}$  tratada (Inventario Nacional de Fuentes y Sumideros de Gases Efecto Invernadero, 1999).

El  $\text{N}_2\text{O}$  es un importante GEI, con un GWP 310 veces mayor que el del  $\text{CO}_2$  (IPCC/OECD, 1997). Las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  provenientes del manejo y disposición de aguas residuales, hacen parte del conjunto de emisiones derivadas de la actividad agrícola, según lo conceptúa la metodología de clasificación de

fuentes de GEI del IPCC (IPCC/OECD, 1997; Ince et al., 2001). En general, el cálculo del  $N_2O$  producido en cualquier sistema no es una tarea sencilla, si se tiene en cuenta que existe una gran incertidumbre sobre la identificación de sus fuentes de emisión y su compleja interrelación (Firestone y Davidson, 1989; Barton y Atwater, 2002). Por mucho tiempo el cálculo del balance global de nitrógeno fue errático, a pesar de la identificación temprana de las emisiones de  $N_2O$  relacionadas con la agricultura y esto era debido a la omisión sistemática de lo que fue llamado “the forgotten component of the global  $N_2O$  Budget”, haciendo referencia al  $N_2O$  asociado al ciclo hidrológico. Esto se explica porque la emisión neta de  $N_2O$  se produce separada en tiempo y espacio, entre el sitio donde se hace el aporte de la carga externa de alguna forma reactiva de nitrógeno ( $NH_4^+$ , Norg,  $NO_3$ ,  $NO_2$ ) y los sitios donde ocurren la transformación y la emisión principal (Bateman e Hiscock, 2001). Lo anterior, sumado a la complejidad de los procesos de acumulación y biotransformación al interior del ciclo del nitrógeno, donde sus diferentes formas reactivas, se intercambian entre sí múltiples veces, mediante reacciones de óxido-reducción, que además de regresar a la atmósfera nitrógeno molecular ( $N_2$ ) también dan lugar a  $N_2O$ , son factores que dificultan la determinación de un estimado acertado de la cantidad de  $N_2O$  producido en cualquier sistema.

El tratamiento secundario (lodos activados, etcétera), se diseña para alcanzar remociones importantes de nitrógeno, logra un relativo control del delicado equilibrio que existe entre las reacciones de óxido-reducción, que permite la transformación de nitratos y nitritos hacia la forma amoniacal ( $NH_4^+$ ) y viceversa, buscando eliminar la mayor parte del nitrógeno disuelto como nitrógeno molecular estable ( $N_2$ ). En estas instalaciones

siempre existe formación directa de  $N_2O$ , como intermediario o subproducto indeseable de las reacciones de óxido-reducción al interior de las unidades de tratamiento (Zheng, Hanaki y Matsuo, 1994; Czepiel, Crill y Harriss, 1995), aunque el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), desconoce esta fuente importante de  $N_2O$  y por consiguiente no define un factor de emisión para sistemas avanzados de tratamiento de aguas, en contradicción con las evidencias contrarias que promulgan las más recientes investigaciones al respecto (Meneses y Hernández, 2004).

En los tratamientos terciarios de desnitrificación, la conversión de una parte de los nitratos en  $N_2O$  ha pasado inadvertida. De igual manera, en los sistemas aireados un inadecuado control del suministro de oxígeno, el pH o la alcalinidad, puede llevar a niveles de conversión de  $NH_4^+$  en  $N_2O$ , superiores al 30 %; por el contrario cuando estas variables son correctamente controladas, esta conversión se puede reducir al 0.1 %, como lo muestran experiencias en unidades de aireación intermitente (Zheng et al., 1994). El nitrógeno amoniacal (ión  $NH_4^+$  muy soluble) es uno de los contaminantes característicos de efluentes industriales, de las descargas municipales no tratadas y de efluentes de PTAR municipales anaerobias y/o facultativas, donde no hay remoción de  $NH_4^+$ . En este caso la formación y la emisión de  $N_2O$  puede llegar a ser más severa que en los sistemas de tratamiento avanzados, aunque ésta ocurre fuera de las fronteras físicas de la instalación, es decir, descargando concentraciones altas de nitrógeno a un cuerpo receptor, donde se estimulan procesos naturales y no selectivos de nitrificación-desnitrificación. Existe incertidumbre en la cuantificación de las emisiones de  $N_2O$ , en el caso de aguas superficiales, debido a que la mayor parte de los estudios de formación de  $N_2O$ ,

se han efectuado en aguas subterráneas, desembocaduras de ríos, estuarios, mares interiores y aguas estancadas, donde se presentan condiciones favorables para la formación de  $N_2O$ : disponibilidad restringida de oxígeno, mayor presencia de microorganismos nitrificantes y altos niveles de alcalinidad. Además, la alta solubilidad del  $N_2O$  en el agua favorece elevadas concentraciones de este gas en aguas infiltradas y subterráneas, por lo que tiende a permanecer en la fase líquida, hasta encontrar las condiciones que le permitan ser liberado hacia la atmósfera (Yoshinari et al., 1997).

México experimenta un incremento en el consumo de agua y como consecuencia se ha generado mayor cantidad de aguas residuales. De acuerdo a la SNIARN-SEMARNAT (2013), la generación de aguas residuales para el año 2012 fue de  $229.73 \text{ m}^3/\text{s}$ , las emisiones de  $CH_4$ , se incrementaron 126.6 % de 1990 a 2010, con emisiones de 188 Gg de  $CH_4$  (equivalente a 3,948.2 Gg de  $CO_2\text{eq}$ ) y de 426 Gg (que corresponden a 8,946.5 Gg de  $CO_2\text{eq}$ ), respectivamente. Para el caso de aguas industriales se incrementaron las emisiones de  $CH_4$  149.7 % ya que en 1990 se emitieron 181.3 Gg de  $CH_4$  (equivalente a 3,808.1 Gd de  $CO_2\text{eq}$ ) y de 452.7 Gg (que corresponden a 9,507.6 Gg de  $CO_2\text{eq}$ ) para el año 2010. En las emisiones de  $N_2O$  provenientes de aguas residuales, se emitieron para 1990 1,263.4 Gd de  $CO_2\text{eq}$  y 1,942.3 Gg de  $CO_2\text{eq}$  para 2010, lo cual es un incremento de 57.3 %. Para el caso de aguas industriales se incrementaron las emisiones de  $CH_4$  149.7 %, ya que en 1990 se emitieron 181.3 Gg de  $CH_4$  (equivalente a 3,808.1 Gd de  $CO_2\text{eq}$ ) y de 452.7 Gg (que corresponden a 9,507.6 Gg de  $CO_2\text{eq}$ ) para el año 2010 (INECC-SEMARNAT, 2012). Finalmente, para los lodos de tratamiento de aguas residuales no existe información detallada de la generación y manejo. Rojas y

Mendoza (2011) mencionan que se generan alrededor de 640 millones de toneladas/año en 2029 plantas registradas ante Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el 64 % de estos lodos son depositados a cielo abierto. Del resto, el 51 % son estabilizados en digestión anaerobia sin recuperación de biogás (Jiménez y Wang, 2006). Por lo anterior expuesto no existe información de los GEI proveniente de los lodos residuales de PTAR en México; sin embargo, se presentan en la figura 2 las emisiones de  $\text{CH}_4$  por tipo de sistema de tratamiento, y se recopilan datos de la CONAGUA del año 2012, de PTAR que actualmente queman o aprovechan el biogás en la tabla 1 (Ortíz, Sánchez, Rodríguez, 2015).

Con base en lo anterior, en este estudio se cuantificó el potencial de reducción de emisiones de GEI a partir de la producción de biogás proveniente del aprovechamiento de las aguas residuales de las plantas de tratamiento en la DACBiol-UJAT, para ello fue necesario integrar el registro de operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la DACBiol-UJAT por tipo de tecnología, identificando año de construcción, condiciones de operación, capacidad de carga, volumen, balances de materia y eficiencias de remoción de contaminantes. Del mismo modo se cuantificaron las emisiones de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  empleando la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2006), finalmente se estimó el potencial de producción de biogás y la línea de reducción de emisiones.

## **MATERIALES Y MÉTODO**

El área de estudio es la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol), ocupa una superficie de 21 hectáreas (figura 3), en donde se ofrecen las licenciaturas en Biología, Ecología, Gestión Ambiental e Ingeniería Ambiental, así como dos maestrías, la Maestría en Ciencias Ambientales (MCA) y la Maestría en Ingeniería Tecnología y Gestión Ambiental (MITyGA), y el Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales (DEST). Se estima que en la DACBiol se encuentran desarrollando actividades cerca de 2,400 personas entre las cuales se encuentran 138 profesores.

### ***Actividades de campo***

En las PTAR se identificaron los procesos unitarios, deficiencias y descontroles del proceso por planta. Se evaluaron las fuentes de aguas residuales dentro de la institución, inspeccionando el sistema de alcantarillado, sanitarios por edificios y descargas. Se realizaron aforos directos del agua residual en el cárcamo concentrador.

### ***Evaluación física de las unidades de tratamiento***

Se realizó el levantamiento físico de las unidades de tratamiento identificando dimensiones internas y externas, para ello se utilizaron cintas métricas y flexómetros. Los parámetros medidos fueron, espesores de muros, bordos libres, tirante de agua, longitud y anchura, diámetro de las tuberías, etcétera.

### ***Sitios de muestreo y obtención de las muestras***

Los muestreos de aguas residuales se realizaron bajo la norma NMX-AA-003-1980 y la Norma Oficial Mexicana 001-SEMARNAT-1996. Las descargas operan de 18 a 24 horas, por lo que el número de muestras simples es de seis, con un intervalo de tiempo entre las tomas de muestra de tres a cuatro horas. Los puntos de muestreo evaluados fueron, el cárcamo y descarga final de la PTAR fisicoquímica. En la planta piloto de humedales artificiales se tomaron muestras en el cárcamo y en el efluente de cada uno de los 12 reactores los cuales son seis de flujo libre y seis de flujo subsuperficial.

### ***Aforo de las aguas residuales***

Se realizó el aforo por método directo de volumen-tiempo. Para ello se preparó el cárcamo de volumen conocido (graduándolo), posteriormente, se determinó el tiempo en que se llenó dicho recipiente obteniéndose el caudal con la relación presente en la ecuación 1.

$$Q = V / t \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

$Q$  = Caudal ( $m^3/día$ ).

$t$  = Tiempo ( $día$ ).

$V$  = Volumen ( $m^3$ ).

### ***Actividades de laboratorio***

La caracterización fisicoquímica de las aguas residuales fue realizada en base a los procedimientos analíticos señalados

por la Norma Oficial Mexicana 001-SEMARNAT-1996. Los parámetros de control de procesos (pH, temperatura, SDT, color, turbidez) se determinaron en el *Laboratorio de Tecnología del Agua* de la DACBiol-UJAT de manera rutinaria y al final se realizó un muestreo completo con los parámetros establecidos por la Norma Oficial Mexicana 001-SEMARNAT-1996.

### ***Actividades de gabinete***

Las actividades realizadas fueron las siguientes: revisión bibliográfica de tratamientos de aguas residuales y GEI, recopilación y revisión de información histórica de la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales y recopilación demográfica. Se realizó el plan de muestreo y aforo, metodologías de diseño a través de publicaciones, artículos, tesis y manuales de la CONAGUA.

### ***Población y gastos de proyecto***

En la evaluación del gasto teórico de aguas residuales se estimó el cálculo teórico con la población actual considerando la capacidad de carga y con una aportación de 40 L/hab/día. Con respecto a la carga orgánica expresada como  $DBO_5$  se determinó con un factor de carga equivalente a 50 g/hab/día (CONAGUA, 2007). Ecuaciones de gastos teóricos y flujo másico (ecuaciones de 2 a 7):

Aportación:	$A_p = 0.8 \text{ Dot}$	(l/hab/día)	Ecuación (2)
Gasto medio:	$Q_{med} = (A_p * P_p) / 86,400 =$	(l/s)	Ecuación (3)
Gasto mínimo:	$Q_{min} = 0.5 Q_{med}$	(l/s)	Ecuación (4)
Volumen diario:	$V_d = Q_{med} * 86.4$	(m <sup>3</sup> /día)	Ecuación (5)
Flujo másico:	$P_0 = P_p * CO$	(kg/día)	Ecuación (6)
DBO teórica:	$C_0 = (P_0 / V_d) * 1,000$	(mg/l)	Ecuación (7)

### *Análisis de resultados*

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio, se analizaron los datos para verificar cuanto se tiene por arriba de los valores máximos permisibles establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 de los parámetros medidos. Del mismo modo se realizó un análisis de biodegradabilidad de las aguas según lo establece Crites y Tchobanoglous (2000).

### *Eficiencia requerida del sistema*

La eficiencia requerida de un sistema está dada por la concentración promedio de entrada de una sustancia y la concentración de salida que se establece por la NOM-001-SEMARNAT-1996, y la eficiencia de proceso está dada en función de la concentración promedio de entrada y salida de una sustancia. Para cualquier sustancia dada se puede aplicar el cálculo de eficiencia requerida y eficiencia de proceso de remoción mediante la ecuación 8 (Metcalf y Eddy, 2003).

$$\eta' = [(C_1 - C_2) / C_1] * 100 \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde:

$\eta'$  = Eficiencia de remoción requerida de una sustancia dada (%).

$C_1$  = Concentración de entrada de la sustancia (mg/L).

$C_2$  = Concentración máxima permisible de la sustancia (mg/L).

### ***Evaluación de los GEI en las aguas crudas, tratadas y lodos generados***

Se realizó el inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales, se recopilaron gastos de agua, así como los aportes de residuales, tipo de proceso, tecnología, año de construcción, gasto de diseño y operación, balance de materia, cuerpo receptor, caracterización de influente y efluente. Para cubrir los objetivos específicos antes planteados se retomó la metodología y factores presentes en la tabla 2 para la estimación de las emisiones de GEI se basa en las directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (2006).

### **Emisiones totales de CH<sub>4</sub> procedentes de las aguas residuales domésticas**

$$\text{Emisiones de CH}_4 = [\sum_{i,j}(U_i T_{i,j} EF_j)](TOW - S) - R \quad \text{Ecuación (9)}$$

Donde:

*Emisiones de CH<sub>4</sub>* = Emisiones de CH<sub>4</sub> durante el año del inventario, kg de CH<sub>4</sub>/año.

*TOW* = Total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg de DBO /año.

*S* = Componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario, kg de DBO/año.

*U<sub>i</sub>* = Fracción de la población del grupo de ingresos *i* en el año de inventario, véase el Cuadro 6.5.

*T<sub>i,j</sub>* = Grado de utilización de vía o sistema de tratamiento y/o eliminación *j*, para cada fracción de grupo de ingresos *i* en el año del inventario, véase el Cuadro 6.5.

*i* = Grupo de ingresos: rural, urbano de altos ingresos y urbano de bajos ingresos.

$j$  = Cada vía o sistema de tratamiento/eliminación.

$EF_j$  = Factor de emisión, kg de  $CH_4$ /kg de DBO.

$R$  = Cantidad de  $CH_4$  recuperada durante el año del inventario, kg de  $CH_4$ /año.

*Nota: Cuadro 6.5 de Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Este cuadro se encuentra en el documento del IPCC, 2006.*

**Factor de emisión de  $CH_4$  para cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación de aguas residuales domésticas**

$$EF_j = B_0 \cdot MCF_j$$

Ecuación (10)

Donde:

$EF_j$  = Factor de emisión, kg de  $CH_4$ /kg de DBO.

$j$  = Cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación.

$B_0$  = Capacidad máxima de producción de  $CH_4$ , kg de  $CH_4$ /kg de DQO.

$MCF_j$  = Factor corrector para el metano (fracción) (véase el Cuadro 6.3).

**Total de materia orgánica degradable en las aguas residuales doméstica**

$$TOW = P \cdot DBO \cdot 0.001 \cdot I \cdot 365$$

Ecuación (11)

Donde:

$TOW$  = Total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg de BOD/año.

$P$  = Población del país en el año del inventario, (personas).

$DBO$  = DBO per cápita específico del país en el año del inventario, g/persona/día, véase el Cuadro 6.4.

$0.001$  = Conversión de gramos de DBO a kilogramos de DBO.

$I$  = Factor de corrección para DBO industrial adicional eliminado en las cloacas (si es recolectado el valor por defecto es 1.25, si no es recolectado el valor por defecto es 1.00).

### **Emisiones de $N_2O$ provenientes de las aguas residuales efluentes**

$$Emisiones\ de\ N_2O = N_{EFLUENTE} \cdot EF_{EFLUENTE} \cdot 44/28 \quad \text{Ecuación (12)}$$

Donde:

$Emisiones\ de\ N_2O$  = Emisiones de  $N_2O$  durante el año del inventario, kg de  $N_2O$ /año

$N_{EFLUENTE}$  = Nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos, kg de N/ año

$EF_{EFLUENTE}$  = Factor de emisión para las emisiones de  $N_2O$  provenientes de la eliminación en aguas servidas, kg de  $N_2O$ /kg de N

*El factor 44/28 corresponde a la conversión de kg de  $N_2O$ -N en kg de  $N_2O$ .*

### **Nitrógeno total en los efluentes**

$$N_{EFLUENTE} = (P \cdot Proteína \cdot F_{NRP} \cdot F_{NON-COM} \cdot F_{IND-CON}) - N_{LODO} \quad \text{Ecuación (13)}$$

Donde:

$N_{EFLUENTE}$  = Cantidad total anual de nitrógeno en los efluentes de aguas residuales, kg de N/año.

$P$  = población humana.

$Proteína$  = Consumo per cápita anual de proteínas, kg/persona/año.

$F_{NPR}$  = Fracción de nitrógeno en las proteínas, por defecto = 0.16, kg de N/kg de proteína.

$F_{NON-CON}$  = Factor de las proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales.

$F_{IND-COM}$  = Factor para las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas en los sistemas de alcantarillado.

$N_{LODO}$  = Nitrógeno separado con el lodo residual (por defecto = 0), kg de N/año.

### **Emisiones de $N_2O$ provenientes de plantas de tratamiento centralizado de aguas residuales**

$$N_2O \text{ de plantas} = P \cdot T_{PLANTA} \cdot F_{IND-COM} \cdot EF_{PLANTA} \text{ Ecuación (14)}$$

Donde:

$N_2O \text{ plantas}$  = Total de las emisiones de  $N_2O$  procedentes de las plantas durante el año del inventario, Gg de  $N_2O$ .

$P$  = Población humana.

$T_{PLANTA}$  = Grado de utilización de las plantas WWT centralizadas modernas, %.

$F_{IND-COM}$  = Fracción de las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas (por defecto = 1.25, basado en datos de Metcalf y Eddy (2003) y en dictamen de expertos).

$EF_{PLANTA}$  = Factor de emisión, 3.2 g de  $N_2O$ /persona/año.

*Nota: Cuando un país decide declarar las emisiones de  $N_2O$  procedentes de las plantas de tratamiento, la cantidad de nitrógeno asociado con esas emisiones ( $N_{WWT}$ ) debe retro-calcularse y restarse del  $N_{EFUENTE}$ . El  $N_{WWT}$  puede calcularse multiplicando  $N_2O$  PLANTAS por 28/44, utilizando los pesos moleculares.*

## RESULTADOS

### *Operación y eficiencia de las PTAR*

La institución cuenta con un sistema de tratamiento de las aguas domésticas, la cual es una planta de tratamiento de aguas residuales físico-química con filtración de zeolitas, consta fundamentalmente de cinco pasos: recepción de aguas residuales en la cisterna, control y aplicación de reactivos, floculación-sedimentación, filtración, cloración y control de sólidos. La planta fue construida bajo normas de calidad y seguridad cumpliendo con los estándares internacionales de fabricación para este tipo de equipos (Zeolitas e Insumos Nacionales S.A de C.V.). El volumen nominal de tratamiento de la planta es de 40,000 L/día, es decir, gasto de diseño ( $Q_{diseño}$ ) de 40 m<sup>3</sup>/día. El proceso basado en la coagulación floculación permite aumentar la tasa superficial y eficiencia de remoción en la sedimentación gravitacional mediante la adición de dosis de un producto químico como coagulante, el coagulante utilizado es el sulfato de aluminio e hidróxido de calcio.

La planta de tratamiento fue monitoreada bajo la supervisión del Laboratorio de Tecnología del Agua del 2012 a 2015, con el objetivo de evaluar las dosis correctas de coagulantes floculantes y probar nuevos alternativos (polímeros orgánicos).

Posteriormente a las evaluaciones quedó fuera de servicio por los altos costos de operación y mantenimiento, sobre todo en el uso de reactivos como los coagulantes floculantes y el cloro para la desinfección. Otro de los problemas principales fue el manejo de los lodos residuales, los cuales se recirculaban al cárcamo cisterna, colmatando el mismo debido a lodos producidos desde el inicio de su operación. Esta problemática del mal diseño de la empresa provocaba que cada día en la operación de la planta se incrementara el consumo de reactivos y por la alta producción de lodos se realizaran paros más prolongados para el mantenimiento preventivo como es la limpieza de lodos en cada una de las unidades de la planta siendo el de mayor problema el filtro de zeolitas.

Aunado a esta problemática durante el año 2012 se había rebasado el gasto de operación de las mismas, pues de los estudios realizados por López et al. (2014), se estimó que se generaban aproximadamente 120 m<sup>3</sup>/día de agua residual sólo por el personal y alumnado que realizaban actividades por más de 12 horas en la institución, por lo que se rebasó la capacidad de la planta la cual es de 40 m<sup>3</sup>/día (Zeolitas e Insumos Nacionales S.A de C.V), el mayor volumen del agua residual era generado por un consumo desmedido del agua por lo que se iniciaron acciones para el ahorro del vital líquido dentro de la institución. Sin embargo, después de siete años de operación (2014), el sistema comenzó a presentar deterioro por la corrosión proveniente de ácidos de las aguas residuales y atmosférica, pues durante la operación de las PTAR se observó que la dosificación de coagulantes propuesta por el proveedor de la planta, era mayor (5,000 mg/L de sulfato de aluminio y 5,000 mg/L de hidróxido de calcio) a la requerida (máxima 400 mg/L de sulfato de aluminio y 400 mg/L de hidróxido de calcio), y dependiendo

de la época del año la concentración de los coagulantes bajaba a 200 mg/L en ambos casos. De igual forma se encontró que el lodo residual que se generaba provocaba la cementación del medio receptor (suelo) al cual se depositaba (Proyecto UJAT-DACBiol 2012-07). Por lo que en el 2015 la administración decidió cerrar esta planta debido a los altos costos de operación y al efecto ambiental que las sales metálicas provocaban en el medio receptor (suelo).

La PTAR fisicoquímica 1 (FQ1) se dejó de operar desde 2015, y se puede apreciar que desde 2012 bajó la eficiencia de operación con respecto a la eficiencia de remoción de DBO y el gasto de operación se presentó de 40 a 51 m<sup>3</sup>/día (tabla 3). La PTAR fisicoquímica 2 (FQ2) se dejó de operar desde 2010, no continuó en servicio por falta de operadores, no mantener un gasto mínimo de operación entre otros factores. Actualmente se ha planteado cambiarla de lugar a un costado del cárcamo cisterna para garantizar un mejor control de operación (tabla 4).

### ***Sistema de tratamiento actual***

Considerando las fallas y anomalías en el sistema de tratamiento anterior fue necesario buscar sistemas alternos de tratamiento que fueran económicos, de fácil operación y adecuados a las condiciones climatológicas del Estado. Una de estas tecnologías son los Humedales Artificiales (HA), ya que requieren de poco personal operativo y el proceso de tratamiento de las aguas residuales involucran elementos que son proveídos por la naturaleza.

En el 2012, se inició la construcción del sistema de tratamiento piloto de humedales artificiales (Proyecto UJAT-2012-IA-002), el cual no fue diseñado para cubrir la demanda del agua residual generada en la DACBiol, solo consideraba el volumen de agua generado por el alumnado de los sanitarios ecológicos presentes en el CICART y el edificio B. Actualmente esta planta piloto consta de cuatro tanques receptores de agua residual con capacidad de 200 L cada uno, más 12 humedales artificiales a escala piloto: seis humedales artificiales de flujo libre (HAFL) y seis humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFS). Las unidades fueron construidas en lámina de acero al carbón con dimensiones de 2.5 m de largo x 1.2 m de ancho x 1.0 m de profundidad y 0.5 m de tirante, pues estas son utilizadas para proyectos de investigación donde se evalúan nuevas especies de la región para ver su potencial de fitorremediación (Proyecto PROMEP-UJAT-PTC-128-2012). El volumen de tratamiento de la planta es de 5 a 20 m<sup>3</sup>/día, volumen equivalente al 50 % de la capacidad de la planta de tratamiento fisicoquímico para cumplir con parámetros de descarga al suelo y a humedales (NOM-001-SEMARNAT-1996).

### ***Sistema de tratamiento de humedales artificiales en construcción***

Con motivo de incrementar la capacidad de tratamiento, en 2017 se decidió construir un sistema más de humedales artificiales (Folio de Registro 298), el cual consiste en un humedal artificial con tres secciones (uno de flujo subsuperficial y dos de flujo libre), la capacidad total de tratamiento del sistema es de 15 a 30 m<sup>3</sup>/día. Actualmente este sistema se encuentra en construcción (segundo módulo) por lo que en la zona hay materiales y herramientas de construcción. Las características generales de diseño de este

sistema en construcción son las siguientes, en cuanto a la planta piloto de humedales artificiales compuesta por seis de flujo libre y seis de flujo subsuperficial, aunque pueden tratar hasta 20 m<sup>3</sup>/día, el gasto de operación se mantiene constante por bombeo y carga en los tanques de control y distribución manteniendo en 12.5 m<sup>3</sup>/día, dicho caudal se mantiene así para favorecer un mayor tiempo de retención que garantiza una mayor eficiencia de remoción. Por esta razón los humedales mantienen una remoción de DBO mayor a 90 %, en la tabla 5 se presentan las condiciones de operación de la PTAR de humedales artificiales. En la tabla 6 y 7 se presentan las concentraciones promedio de entrada y salida de las concentraciones de contaminantes básicos en los humedales artificiales.

### ***Balance de masa de aguas***

En cuanto al balance de masa, para los años 2010 al 2012 se conoce por censo oficial de la institución que operaban alrededor de 1,800 personas para el 2010 y hasta 2,800 para el 2012, por lo cual no puede haber mayor consumo de agua como el que se presenta en la tabla 8 que corresponde al consumo teórico; sin embargo en la tabla 9, se observa que se aforó una cantidad mayor a la demanda, esto nos permitió calcular cual realmente fue la servida real para cada año, estos números marcados con color rojo en la tabla 8 manifiestan que la población fue de 4,000 a 6,500 personas diarias, lo cual en realidad nunca se presentó, sin embargo ese número, refleja el total de personas que desecharían tal cantidad de agua residual.

Al analizar las concentraciones de los contaminantes básicos sabemos que van de media a baja (Crites y Tchobanoglous, 2000), lo cual hace ver que tenemos una alta

dilución. Efectivamente la dilución se debe a las fugas de agua potable en todos los sanitarios, por lo que al implementar desde 2012 la reconstrucción de sanitarios, del alcantarillado, cisternas y suministros de agua, se solucionó el problema de las fugas de agua limpia hacia el drenaje, pues se puede apreciar la disminución en el volumen de agua residual que llega al cárcamo concentrador con la mejora del sistema sanitario (tabla 10), eficientando el consumo de agua en las instalaciones (tabla 11).

En la figura 4 se muestra el efecto del incremento del volumen de agua sin tratamiento y que va directo al Tintal que funge como cuerpo receptor, pues por problemas operativos administrativos se dejó de operar la PTAR FQ1 y FQ2, quedando solo en operación a partir del 2015 los doce reactores de humedales artificiales que fueron diseñados y construidos con fines de investigación, estos operan de 2012 a la fecha. Para iniciar nuevamente el arranque y operación las plantas, independientemente al mantenimiento preventivo y correctivo de las mismas, es necesario construir un lecho de secado para la deshidratación y manejo adecuado al lodo (tratamiento), ya que es un lodo químico con alto contenido de sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) e hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). En la figura 5 se presentan los generadores de aguas residuales sanitarias, donde se resalta que el CICART (20.9 %) y el módulo de baños nuevos (14 %) son los principales generadores.

### ***Emissiones de $\text{CH}_4$ procedentes de las aguas residuales domésticas***

Como se puede observar en la tabla 12, el año con mayor emisión de  $\text{CH}_4$  corresponde al 2012 con un total de 3,744 kg de  $\text{CH}_4$ /año, debido al control de fugas para el año 2017 sólo generaron

1,750 kg de  $\text{CH}_4$ /año, respecto a ese año en que se presentó la mayor generación se ha reducido un 46.74 %. En la figura 6 se presenta el total de emisiones anuales de  $\text{CH}_4$  en la institución de 2010 al 2017.

***Emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  provenientes de las aguas residuales efluentes y la PTAR***

Como se puede observar en la tabla 13, el año con mayor emisión de  $\text{N}_2\text{O}$  corresponde al 2012 con un total de 401 kg de  $\text{N}_2\text{O}$ /año, debido al control de fugas para el año 2017 sólo se generó 176 kg de  $\text{N}_2\text{O}$ /año, respecto a ese año en que se presentó la mayor generación se ha reducido un 43.9 %. En la figura 7 se presenta el total de emisiones anuales de  $\text{N}_2\text{O}$  en la institución de 2010 al 2017. Se puede observar en la tabla 14 el año con mayor emisión de  $\text{N}_2\text{O}$ , que corresponde al 2012 con un total de 40,320 g de  $\text{N}_2\text{O}$ /año, debido al control de fugas para el año 2017 sólo se generó 17,700 g de  $\text{N}_2\text{O}$ /año, respecto a ese año en que se presentó la mayor generación se ha reducido un 43.9 %. En la figura 8 se presenta el total de emisiones anuales de  $\text{N}_2\text{O}$  en la institución de 2010 al 2017. Estos valores serían si el 100 % de las plantas operaran correctamente con una buena eficiencia de remoción de contaminantes. Finalmente, en la tabla 15 se presenta la propuesta para la implementación de medidas correctivas y acciones encaminadas al control de la generación de Gases de Efecto Invernadero por aguas residuales en la DACBiol para los próximos tres años.

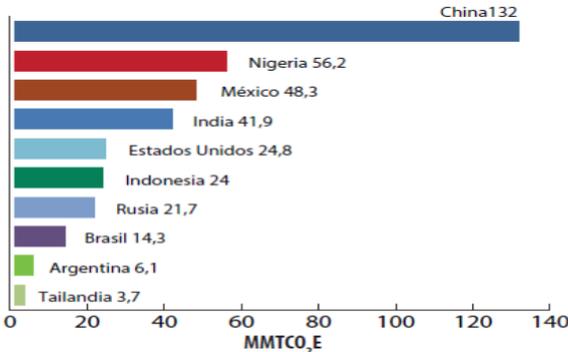
## CONCLUSIONES

El gasto de tratamiento de aguas residuales actual es de 21.2 %, el 78.8 % es vertido sin tratamiento previo a los tinales que son el cuerpo receptor reportado en el área.

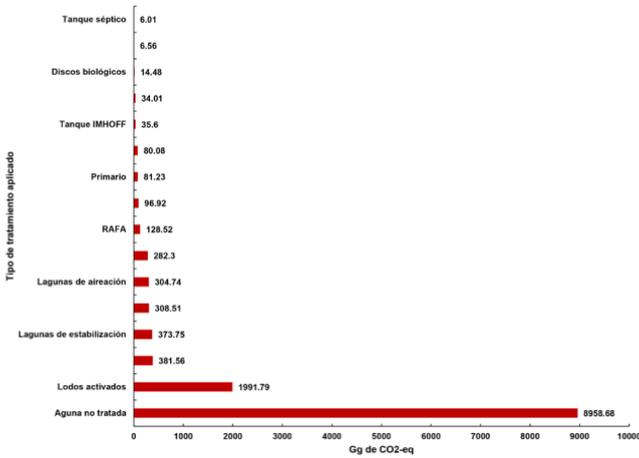
El Centro de Investigación para la Conservación y Aprovechamiento de Recursos Tropicales (CICART) es el edificio con mayor volumen de agua residual sanitaria con un 20.9 %, seguido del módulo de baños nuevos con 14 %.

Por la descarga de aguas residuales se generan y emiten a la atmósfera 1,750 kg de  $\text{CH}_4$ /año y 176 kg de  $\text{N}_2\text{O}$ /año.

Es necesario complementar el tren de tratamiento de aguas residuales y tren de tratamiento de lodos para poder cumplir satisfactoriamente con la reducción de gases de efecto invernadero del 2018 al 2020.



**Figura 1.** Estimación mundial de emisiones de  $\text{CH}_4$  provenientes de las aguas residuales municipales en los 10 países de la IGM con cifras más altas, 2010\*. *Fuente:* Iniciativa Global Metano, 2013.



**Figura 2.** Emisiones de CH<sub>4</sub>, por tipo de sistema de tratamiento, elaborado por datos reportados por CONAGUA 2012. Fuente: Ortíz, et al., 2015.

**Tabla 1.**

PTAR que actualmente queman o aprovechan el biogás o en proceso de hacerlo.

Entidad	Nombre de PTAR	Proceso	Caudal tratado (L/s)	Observaciones
Chihuahua	Norte	Lodos Activados	473	Se quema biogás
	Chihuahua Sur		1749	Se usa en calentamiento de biodigestor
	Norte		1350	El biogás se envía a otro PTAR
	Sur		1650	Quema de biogás
Coahuila	Principal	Lodos Activados	900	Se quema biogás

<b>Entidad</b>	<b>Nombre de PTAR</b>	<b>Proceso</b>	<b>Caudal tratado (L/s)</b>	<b>Observaciones</b>
Guanajuato	León	Primario/ Biofiltro	1525	Se usa en calentamiento de biodigestor
	León	Primario Avanzado/ Lodos Activados	100	Se quema biogás
Jalisco	El Ahogado	Lodos Activados	1500	Se cogenera energía
Nuevo León	Norte	Aireación extendida	2057	Se quema biogás y cogenera energía
	Dulces Nombres	Lodos Activados	4440	
Puebla	San Francisco	Primario avanzado	1100	El lodo se trata en planta Atoyac Sur
	Salseseca		500	Se quema biogás
	Atoyac sur		200	
	Barranca del Conde		180	El lodo se trata en planta Atoyac Sur
	Parque Ecológico		80	
Querétaro	San Pedro Mártir	Dual anaerobio-aerobio	400	Se quema biogás y cogenera energía
Sinaloa	Culiacán Norte	Primario avanzado	1533	
Tamaulipas	Morelos	Biofiltros	100	Se quema biogás
	Tierra Negra	Lodos Activados	800	
Veracruz	FIRIOB	Lodos Activados	750	

Fuente: CONAGUA (2012).



**Figura 3.** Vista en planta de la División Académica de Ciencias Biológicas.

**Tabla 2.**

Factor de corrección de  $\text{CH}_4$  (MCF) para diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

<b>Tipo de sistema de tratamiento</b>	<b>MCF valor predeterminado</b>	<b>MCF rango</b>
Planta tratamiento aeróbico centralizado	0 0.3	0-0.1 0.2-0.4
Reactor anaeróbico	0.3	0.8-1.0
Laguna anaeróbica de poca profundidad	0.2	0.0.3
Laguna anaeróbica profunda	0.8	0.8-1.0

Fuente: IPCC (2006).

**Tabla 3.**  
Planta de tratamiento de aguas residuales Fisicoquímica 1  
(PTAR FQ1).

No.	Año de Construcción	Año de evaluación	Gasto (m <sup>3</sup> /día)		Opera		Ce DBO (mg/L)	Cs DBO (mg/L)	ER DBO (%)	Cuerpo receptor
			Dis-eño	Opera-ción	Si	No				
1	2005	2010	40	42	x		209	20	90.6	Tintal
2	2005	2011	40	29	x		245	22	91.2	Tintal
3	2005	2012	40	51	x		380	104	72.6	Tintal
4	2005	2013	40	40	x		308	110	64.3	Tintal
5	2005	2014	40	40	x		280	120	57.1	Tintal
6	2005	2015	40	0		x	355	355	0.0	Tintal
7	2005	2016	40	0		x	320	320	0.0	Tintal
8	2005	2017	40	0		x	285	285	0.0	Tintal

**Tabla 4.**  
Planta de tratamiento de aguas residuales Fisicoquímica 2  
(PTAR FQ2).

No.	Año de Construcción	Año de evaluación	Gasto (m <sup>3</sup> /día)		Opera		Ce DBO (mg/L)	Cs DBO (mg/L)	ER DBO (%)	Cuerpo receptor
			Dis-eño	Opera-ción	Si	No				
1	2005	2010	10	9.2	x		209	35	83.3	Jardín B.
2	2005	2011	10	0		x	245	245	0.0	Jardín B.
3	2005	2012	10	0		x	380	380	0.0	Jardín B.
4	2005	2013	10	0		x	308	308	0.0	Jardín B.
5	2005	2014	10	0		x	280	280	0.0	Jardín B.
6	2005	2015	10	0		x	355	355	0.0	Jardín B.
7	2005	2016	10	0		x	320	320	0.0	Jardín B.
8	2005	2017	10	0		x	285	285	0.0	Jardín B.

**Tabla 5.**

Planta de tratamiento de aguas residuales de Humedales Artificiales de Flujo libre y subsuperficial.

No.	Año de Construcción	Año de evaluación	Gasto (m <sup>3</sup> /día)		Opera		Ce DBO (mg/L)	Cs DBO (mg/L)	ER DBO (%)	Cuerpo receptor
			Diseño	Operación	Si	No				
1	2012	2012	20	12.5	x		380	18	95.3	Tintal
2	2012	2013	20	12.5	x		308	15	95.0	Tintal
3	2012	2014	20	12.5	x		280	18	93.6	Tintal
4	2012	2015	20	12.5	x		355	17	95.2	Tintal
5	2012	2016	20	12.5	x		320	10	96.9	Tintal
6	2012	2017	20	12.5	x		285	13	95.6	Tintal

**Tabla 6.**

Caracterización promedio de las aguas residuales de entrada a los humedales artificiales.

Parámetros	2012	2013	2014	2015	2016	2017
pH (UpH)	7.4	7.3	8.2	8.0	8.0	7.7
Temp (°C)	25.7	25.9	26.9	28.3	28.3	26.6
CE (mS)	1.5	1.7	2.9	2.5	2.5	2.0
Color (UC)	789.0	854.7	1012.3	974.0	982.0	890.6
Turb. (UTN)	131.0	142.0	127.3	132.5	82.6	122.5
SST (mg/l)	353.7	383.4	343.6	357.7	223.0	330.7
DBO (mg/l)	380	308	280	355	320	285
DQO (mg/l)	1008.0	1092.7	979.3	1019.3	635.6	942.5
NT (mg/l)	85.8	93.0	83.3	86.8	54.1	80.2
PT (mg/l)	15.2	16.4	14.7	15.3	9.6	14.2
CF (NMP/100ml)	1x10 <sup>5</sup>					
CT (NMP/100ml)	1x10 <sup>6</sup>					

**Tabla 7.**

Caracterización promedio de la descarga de las aguas residuales de los humedales artificiales.

Parámetros	2012	2013	2014	2015	2016	2017
pH (UpH)	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
Temp (°C)	25.0	25.6	26.0	26.3	26.4	25.5
CE (mS)	3.0	2.9	3.1	2.9	2.9	2.9
Color (UC)	214.0	206.0	350.0	352.0	370.0	265.1
Turb. (UTN)	5.8	5.5	15.5	18.0	19.0	10.7
SST (mg/l)	15.6	14.9	41.9	48.6	51.3	28.8
DBO (mg/l)	17.8	15.0	17.7	17.4	10.2	12.8
DQO (mg/l)	44.6	42.5	119.3	138.5	146.2	82.0
NT (mg/l)	3.8	3.6	10.2	11.8	12.4	7.0
PT (mg/l)	0.7	0.6	1.8	2.1	2.2	1.2
CF (NMP/100ml)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
CT (NMP/100ml)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

**Tabla 8.**

Datos de población total, servida y flotante, el consumo y aporte teórico de agua.

Período de evaluación	Población reportada	Población servida	Población flotante	Consumo teórico (m <sup>3</sup> /día)	Aporte teórico (m <sup>3</sup> /día)
2010	1800	6541.7	-4741.7	108	86
2011	1329	5104.2	-3775.2	80	64
2012	2800	3960.0	-1160.0	168	134
2013	2500	1722.5	777.5	150	120
2014	2192	1119.8	1072.2	132	105
2015	2400	981.7	1418.3	144	115
2016	2600	1062.5	1537.5	156	125
2017	2231	1229.2	1001.8	134	107

**Tabla 9.**

Aforos de descarga general, de las PTAR y excedente sin tratar.

Período de evaluación	Aporte Aforado (m <sup>3</sup> /día)	Gasto PTARFQ1 (m <sup>3</sup> /día)	Gasto PTARFQ2 (m <sup>3</sup> /día)	Gasto PTARHA1 (m <sup>3</sup> /día)	Gasto Tratado (m <sup>3</sup> /día)	Gasto sin tratar (m <sup>3</sup> /día)
2010	314	42	9	0	51	263
2011	245	29	0	0	29	216
2012	190	51	0	13	63	127
2013	83	40	0	13	53	30
2014	54	40	0	13	53	1
2015	47	0	0	13	13	35
2016	51	0	0	13	13	39
2017	59	0	0	13	13	47

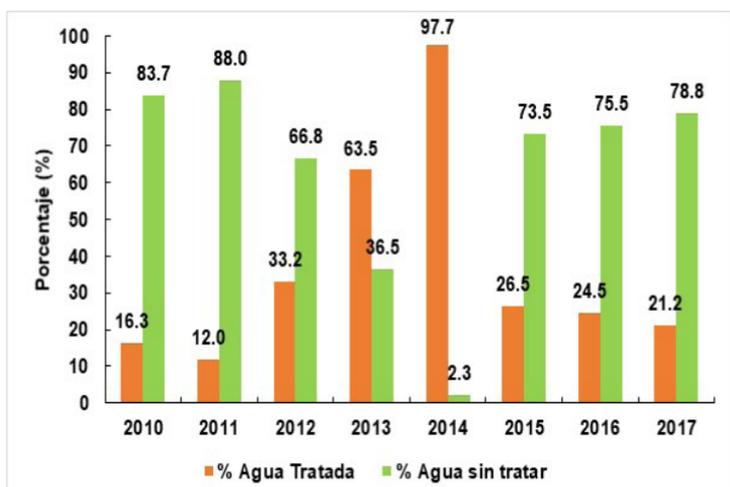
**Tabla 10.**

Generación de aguas residuales por sanitarios 2017.

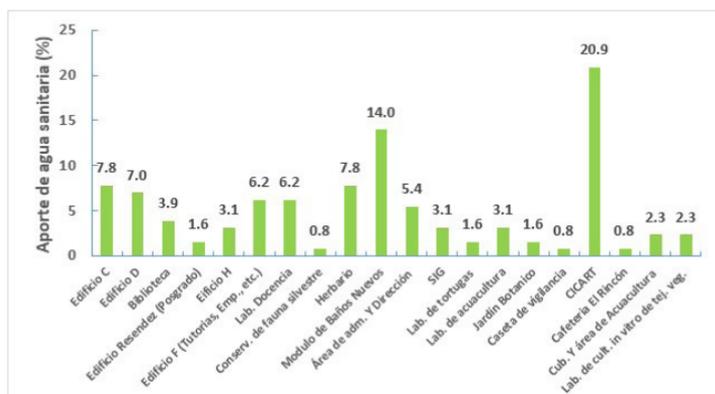
Edificio	Baños
Edificio C	10
Edificio D	9
Biblioteca	5
Edificio Reséndez (Posgrado)	2
Edificio H	4
Edificio F (Tutorías, Emp., etc.)	8
Lab. Docencia	8
Conserv. de fauna silvestre	1
Herbario	10
Módulo de Baños Nuevos	18
Área de adm. y Dirección	7
SIG	4
Lab. de tortugas	2
Lab. de acuicultura	4
Jardín Botánico	2
Caseta de vigilancia	1
CICART	27
Cafetería El Rincón	1
Cub. y área de Acuicultura	3
Lab. de cult. in vitro de tej. veg.	3
Total	129

**Tabla 11.**  
Situación del Manejo del agua en el año 2017.

Datos de Proyecto			Consumo de Agua Potable			Uso de Agua potable		
Año=	2017		Qmed=	73.8	m <sup>3</sup> /día	Áreas	m <sup>3</sup> /día	(%)
Población=	1230	Hab.	Qmin=	36.9	m <sup>3</sup> /día	Cafeterías	19.9	27
Dotación=	60	l/hab/día				Sanitarios	29.5	40
Aportación=	48	l/hab/día	<b>Generación de Agua Residual</b>			Laboratorios	3.7	5
			Qmed=	59.04	m <sup>3</sup> /día	Aseo general	20.7	28
			Qmin=	29.52	m <sup>3</sup> /día	Total	73.8	100
Características del agua de entrada y condiciones de efluente								
Parámetros	C. U. g/hab/día	F. más. (kg/día)	Ce Teórica (mg/l)	LMP NOM-001	Efic. Req.a (%)	Generación de Agua Residual		
						Áreas	m <sup>3</sup> /día	(%)
DBO <sub>5</sub>	25.0	31	521	150	71	Cafeterías	15.9	27
DQO	55.0	68	1146			Sanitarios	23.6	40
SST	30.0	37	625	150	76	Laboratorios	3.0	5
N <sub>TOTAL</sub>	4.5	6	94	40	57	Aseo general	16.5	28
P <sub>TOTAL</sub>	1.4	2	28	20	29	Total	59.0	100
GYA	5.0	6	104	15	86			
Agua tratada y sin tratar								
Volumen de agua tratada			Volumen de agua sin tratar					
PTAR FQ1	0	m <sup>3</sup> /día	Desc. Libre	46.54	m <sup>3</sup> /día			
PTAR FQ2	0	m <sup>3</sup> /día						
HA-FL-HAFS	12.5	m <sup>3</sup> /día						
VT AT	12.5	m <sup>3</sup> /día						



**Figura 4.** Agua tratada por las PTAR (FQ1, FQ2 y HA) y agua sin tratamiento.

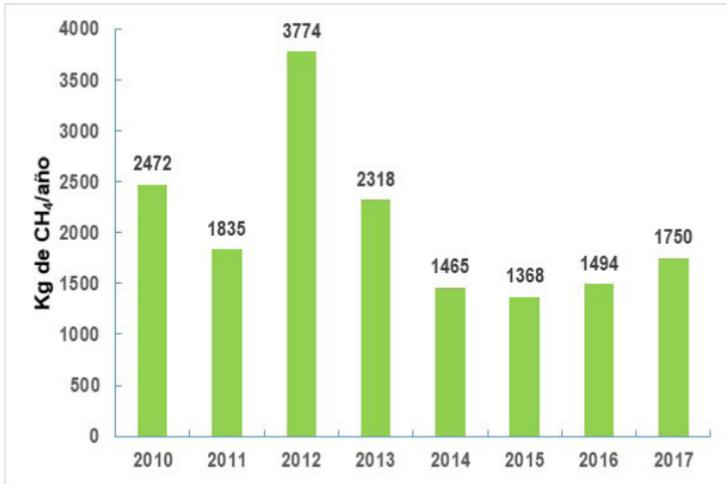


**Figura 5.** Porcentaje de generación de aguas sanitarias.

**Tabla 12.**

Emisiones de CH<sub>4</sub> por las descargas de aguas residuales.

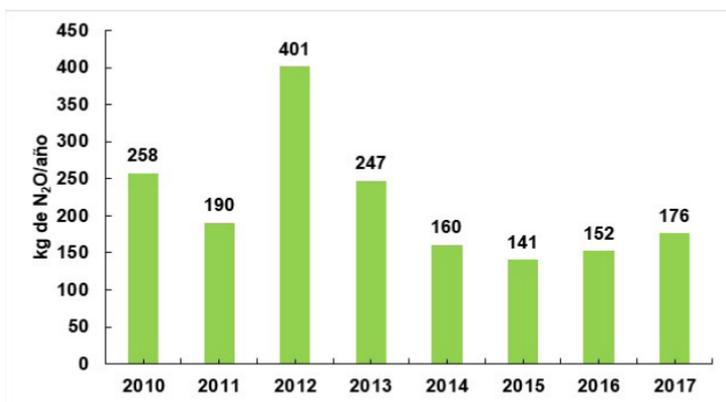
Año	Población	MO T kg DBO/año	MO S kg DBO/año	E CH <sub>4</sub> kg de CH <sub>4</sub> /año
2010	1800	49275	3491	2472
2011	1329	36381	2395	1835
2012	2800	76650	6753	3774
2013	1723	47153	4226	2318
2014	1120	30654	3532	1465
2015	982	26873	1542	1368
2016	1063	29086	1414	1494
2017	1229	33648	1243	1750



**Figura 6.** Emisiones de CH<sub>4</sub> del período 2010-2017.

**Tabla 13.**Emisiones de  $N_2O$  por las descargas de aguas residuales.

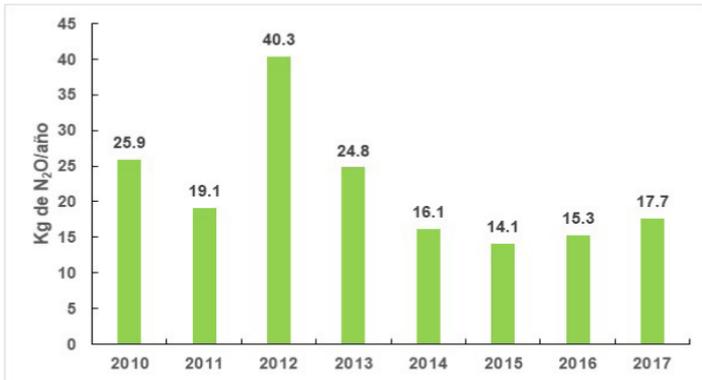
Año	Población	$N_{\text{EFLENTE}}$ kg. de N/año	E de $N_2O$ kg. de $N_2O$ /año
2010	1800	32810	258
2011	1329	24225	190
2012	2800	51038	401
2013	1723	31398	247
2014	1120	20412	160
2015	982	17894	141
2016	1063	19367	152
2017	1229	22405	176

**Figura 7.** Emisiones de  $N_2O$  por descarga de aguas residuales en el período 2010 a 2017.

**Tabla 14.**

Emisiones de N<sub>2</sub>O por las PTAR de aguas residuales.

Año	Población	E de N <sub>2</sub> O de plantas g de N <sub>2</sub> O/año
2010	1800	25920
2011	1329	19138
2012	2800	40320
2013	1723	24804
2014	1120	16125
2015	982	14136
2016	1063	15300
2017	1229	17700



**Figura 8.** Emisiones de N<sub>2</sub>O por las PTAR's del período 2010 a 2017.

**Tabla 15.**

Propuesta para la implementación de medidas correctivas y acciones encaminadas al control de la generación de Gases de Efecto Invernadero por aguas residuales en la DACBIol para los próximos tres años.

Categoría de Análisis	Objetivos	Actividades / Estrategias	Metas	Plazo <sup>1</sup>		Responsables
				C	M	
Consumo de agua	Llevar a cabo la rehabilitación de las PTARs.	Identificación de equipos eléctricos y de bombeo a través de un censo por cada PTAR.	Compra y puesta en marcha de los equipos eléctricos y de bombeos empleados en la PTAR durante un ciclo escolar.	√		Administración y Comité de Eficiencia Energética
		Capacitación en la realización de auditorías en materia de agua, herramientas y técnicas para la operación correcta de los sistemas.	Capacitar al menos 20 personas entre estudiantes, trabajadores y profesores en la realización de auditorías, operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas		√	Administración y Comité de Eficiencia Energética
		Construcción del humedal nuevo.  Mantenimiento preventivo y correctivo de la planta piloto de humedales.  Rehabilitar las PATR fisicoquímicas. Construir el lecho de secado para el tratamiento de los lodos primarios y químicos de las PTAR	Dejar habilitado y operando el 100% los sistemas de tratamiento.		√	Administración y Comité de Eficiencia Energética

Categoría de Análisis	Objetivos	Actividades / Estrategias	Metas	Plazo <sup>1</sup>		Responsables
				C	M	
	Llevar a cabo el monitoreo continuo de la eficiencia de las PTARs y monitoreo de las descargas con análisis de control y acreditados por un laboratorio externo, que permitan la reducción de GEI.	Diseño e implementación de un programa operativo anual sobre la operación de las PTAR	Generación de un programa operativo anual sobre medidas de ahorro gastos operativos de mantenimiento preventivo y correctivo de las PTAR del año 2018 al año 2020.			Administración y Comité de Eficiencia Energética
		Cuantificación de las emisiones de GEI derivadas de la generación y tratamiento de aguas residuales y lodos a partir de una metodología validada por el IPCC.	Generar un reporte anual Reducir las emisiones un 15 % al año 2020 por uso eficiente de las PTAR y tratamiento adecuado de los lodos.			
		Mejora de la eficiencia de las PTAR	Mantener una eficiencia de proceso superior al 90 %			
		Diseño e implementación de sistemas de control del biogás generado en el tratamiento del agua y en el tratamiento del lodo	Adquirir equipos, construir lecho de secado y aplicar tratamientos para control y mitigación la emisión de los GEI.			
Promover y difundir una cultura del buen uso y tratamiento del agua.	Diseño y desarrollo de una campaña de concientización ambiental respecto al uso del agua (carteles, mascota, slogan, etc.).	Aplicación de una campaña de concientización ambiental sobre el uso agua dirigida a la comunidad universitaria a inicio de cada ciclo escolar.	√		Comité de Eficiencia Energética DACBiol  CAITA  Administración	
	Realización de un foro como parte de la contribución académica al problema del agua.	Foro: "El tratamiento de aguas residuales en el sureste de México. Agua sustentable para Tabasco." A cargo del Cuerpo Académico en ingeniería y tecnología Ambiental y el Laboratorio de Tecnología del Agua.				

Categoría de Análisis	Objetivos	Actividades / Estrategias	Metas	Plazo <sup>1</sup>		Responsables
				C	M	
		Socialización del buen manejo, uso y tratamiento del agua de cursos, seminarios y talleres.	Curso Taller: Diseño y Manejo de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Del 4 al 8 de junio de 8 a 13 horas en la sala del CICART y Laboratorio de Tecnología del agua.			Administración  Comité de Eficiencia Energética
		Contribuir en la política pública sobre la gestión integral del Agua para Tabasco.	Socializar los resultados a través de artículos de divulgación en el tema de políticas públicas y agua.			
	Implementar un sistema de control y seguimiento relacionado al consumo del agua.	Integración de un comité divisional para el control y seguimiento de la Gestión Integral del agua.	Generación de un reporte de las actividades realizadas por el comité de manera anual.		√	
		Seguimiento en el pago de derechos de descarga y consumo de agua potable	Reporte anual sobre estado financiero en gestión integral del agua			

## REFERENCIAS

- ADEME. (Agence de L'environment et de la Maitres de l'Énergie). (2018). Le Changement Climatique en 10 Questions: Un défi majeur. Publication ADEME, 1–23. Recuperado de: <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-changement-climatique.pdf>
- Barton, P., K., Atwater, J. W. (2002). Nitrous oxides emissions and the anthropogenic nitrogen in wastewater and solid waste. *Journal of Environmental Engineering*, 128, 137–150. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2002)128:2(137)

- Bateman, A., Hiscock, K. (2001). Dissemination note. The UK Natural Environment Research Council under the Global Nitrogen Enrichment Thematic Programme. May 2001.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2012). Inventario Nacional de Plantas de Tratamientos Para Agua Residual Doméstica. Unidad de Agua Potable y Saneamiento. Gerencia de Potabilización y Tratamiento. Tratamiento de aguas residuales. Informe 2012. Recuperado el 13 de febrero de 2019 <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Inventario%20NPMPTARO,2012.pdf>
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2007. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Gerencia de Proyectos de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Méx. D.F. Recuperado el 13 de febrero de 2019 <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf>
- Crites, R., Tchobanoglous, G., (2002). Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados (Vols. 1, 2, 3). Bogotá, Colombia.
- Czepiel P., Crill P., Harriss R. (1995). Nitrous Oxide Emissions from Municipal Wastewater Treatment. *Environ. Sci. Technol.*, 1995, 29 (9), pp 2352–2356. doi: 10.1021/es00009a030 Recuperado el 13 de febrero de 2019: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es00009a030>
- Firestone, M. K. y Davidson, E. A. (1989). En: “Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere”, M. O. Andrae y D. S. Schimel, eds., Wiley, New York. p. 7- 21
- Ince, O., Ince, B. K. and Yenigun, O. (2001), Determination of potential methane production capacity of a granular sludge from a pilot-scale upflow anaerobic sludge blanket reactor using a specific methanogenic activity test. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 76: 573-578. doi:10.1002/jctb.431
- INECC-SEMARNAT, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

- (2012). Quinta comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Primera Edición. ISBN 978-607-8246-50-2. México D.F. 441 pp.
- Iniciativa Global de Metano (IGM). (2013). El metano de las aguas residuales municipales: Reducir emisiones, avanzar en la recuperación y aprovechar oportunidades. Recuperado de [https://www.globalmethane.org/documents/ww\\_fs\\_spa.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/ww_fs_spa.pdf)
- Intergovernmental Panel on Climate Change/Organization for Economic Cooperation and Development (IPCC/OECD). 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Paris, France. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/meeting/pdfiles/2006GLs\\_scoping\\_meeting\\_report\\_final.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/meeting/pdfiles/2006GLs_scoping_meeting_report_final.pdf)
- Inventario Nacional de Fuentes y Sumideros de Gases Efecto Invernadero. 1999. IDEAM, Bogotá D.C. Recuperado <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/009528/gasesmpi.pdf>
- IPCC/OCDE, (Intergovernmental Panel on Climate Change/Organization for Economic Cooperation and Development). (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Capítulo 6. Tratamiento y eliminación de aguas residuales. Autores: Michiel R. J. Doorn, Sirintornthep Towprayoon, Sonia María Manso Vieira, William Irving, Craig Palmer, Riitta Pipatti, y Can Wang. Recuperado de: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5\\_Volume5/V5\\_6\\_Ch6\\_Wastewater.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5_Volume5/V5_6_Ch6_Wastewater.pdf)
- Jiménez B., y Wang L. (2006). Sludge Treatment and Management. Chapter 10 Municipal wastewater management in developing Countries: Principles and Engennering. Pp 237-292. Ujang Z. and Henze M. Eds.
- López-Ocaña, G., Bautista-Margulis, R. G., Méndez-Angulo, S., Hernández-Barajas, J. R., Torres-Balcázar, C. A., Padrón-López, R. M., de la Cruz-Luna E. y Ferrer-Sánchez. M. I. (2014). Optimization and evaluation of a domestic wastewater treatment system by dual combination of metallic salts and

- zeolites filtration. *Water Pollution XII*. www.witpress.com, ISSN 1743-3541 (on-line). doi:10.2495/WP140221.
- Meneses, A.; Hernández, E., E. 2004. Identificación de emisiones directas e indirectas de gel en el sector tratamiento y disposición de aguas residuales: bases para la formulación de proyectos mdl en par Bistua: *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, vol. 2, núm. 1, pp. 60-69 Universidad de Pamplona Pamplona, Colombia. Recuperado de [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home\\_10/recursos/general/pag\\_contenido/publicaciones/bistua\\_revista\\_ciencias\\_basica/2004/11082010/rev\\_bis\\_vol2\\_num1\\_art7.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/publicaciones/bistua_revista_ciencias_basica/2004/11082010/rev_bis_vol2_num1_art7.pdf)
- Metcalf y Eddy. 2003. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*, Vol. I y II. Tercera edición, Edit. Mc Graw Hill, México, D.F.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARMAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. *Normas Técnicas Mexicanas de Aguas Residuales México*. Diario Oficial de la Federación (30/04/1997).
- ONU, Organización de las Naciones Unidas. (1997). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework convention on Climate Change*. Kyoto, Dec. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- Ortíz H., M., L., Sánchez S., E., Rodríguez S., A., J., Castrejón G., M. L, y Arvizu F., J. L: (2015). *Reporte Mexicano de Cambio Climático. Emisiones y Mitigación de Gases de Efecto Invernadero*. Grupo III, Libro 3. Capítulo 7. Residuos. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp.137-160. Recuperado el 13 de febrero de 2019. [http://www.pincc.unam.mx/libro\\_reportemex/reportemexicano\\_vol\\_III.pdf](http://www.pincc.unam.mx/libro_reportemex/reportemexicano_vol_III.pdf)
- Proyecto PROMEP-UJAT-PTC-128-2012. *Diseño y evaluación de parámetros de control en sistemas experimentales de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial*. Reporte Técnico. Cuerpo Académico de Evaluación y Tecnología Ambiental,

Tecnologías de Prevención y Control de la Contaminación, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Proyecto UJAT No. 298. Diseño, construcción y arranque de un humedal artificial en serie para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Reporte Técnico. Cuerpo Académico de Evaluación y Tecnología Ambiental, Tecnologías de Prevención y Control de la Contaminación, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Proyecto UJAT-2012-IA-002. Evaluación de humedales artificiales experimentales de flujo libre y subsuperficial bajo diferentes condiciones de operación y vegetación. Reporte Técnico. Cuerpo Académico de Evaluación y Tecnología Ambiental, Tecnologías de Prevención y Control de la Contaminación, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Proyecto: UJAT-DACBIOL 2012-07. Evaluación y optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la DACBIOL, (tecnología fisicoquímica y filtración con zeolita). Reporte Técnico. Cuerpo Académico de Evaluación y Tecnología Ambiental, Tecnologías de Prevención y Control de la Contaminación, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Rojas R.R. y Mendoza E. L. G. (2011). El potencial de la generación eléctrica empleando biosólidos como fuente de materia prima. El caso de la ciudad de Ensenada Baja California. Hacia la sustentabilidad. Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima. 343-349. [http://www.redisa.net/doc/artSim2011/RecuperacionDeEnergiaAPartirDeResiduos/El%20potencial%20de%20generación%20de%20energía%20eléctrica%20empleando%20biosólidos%20como%20fuente%20de%20materia%20prima\\_%20El%20caso%20de%20la%20ciudad%20de%20Ensenada,%20Baja%20California.pdf](http://www.redisa.net/doc/artSim2011/RecuperacionDeEnergiaAPartirDeResiduos/El%20potencial%20de%20generación%20de%20energía%20eléctrica%20empleando%20biosólidos%20como%20fuente%20de%20materia%20prima_%20El%20caso%20de%20la%20ciudad%20de%20Ensenada,%20Baja%20California.pdf)

- Schellinkhout, A., Collazos, C. J. 1992. Full-Scale Application of the UASB Technology for Sewage Treatment. *Water Sci. Technol.* 25, p. 159 – 166. <http://wst.iwaponline.com/content/25/7/159>
- Secretaria de Comercio y Fomento Industrial Norma Mexicana NMX-AA-003-1980. Aguas Residuales Muestreo. Recuperado el 13 de febrero de 2019. <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa003.pdf>
- SNIARN-SEMARNAT (2013). Consulta temática. Agua residual generada, colectada y tratada. Disponible en: [https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/indicadores17/conjuntob/indicador/02\\_agua/2\\_2\\_12.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/indicadores17/conjuntob/indicador/02_agua/2_2_12.html)
- USEPA (United State Environmental Protection Agency). (2012). Emisiones antropógenas mundiales de gases de efecto invernadero distintos del CO<sub>2</sub>: 1990–2030 (EPA 430-R-12-006). Recuperado el 13 de febrero de 2019; <https://www.epa.gov/global-mitigation-non-co2-greenhouse-gases/global-anthropogenic-non-co2-greenhouse-gas-emissions>
- Yoshinari, T., M. A. Altabet, S. W. A. Naqvi, L. Codispoti, A. Jayakumar, M. Kuhland, and A. Devol. (1997) . Nitrogen and oxygen isotopic composition of N<sub>2</sub>O from suboxic waters of the eastern tropical North Pacific and the Arabian Sea: measurement by continuous-flow isotope-ratio monitoring. *Marine Chemistry* 56:253–264. doi: 10.1016/S0304-4203(96)00073-4 [https://doi.org/10.1016/S0304-4203\(96\)00073-4](https://doi.org/10.1016/S0304-4203(96)00073-4)
- Zeolitas e Insumos Nacionales S.A de C.V. <http://www.zeolitas.info/web/>
- Zheng, H.; Hanaki, K. and Matsuo, T.1994. Production of nitrous oxide gas during nitrification of wastewater. *Water Sci. Technol.*, 30, (1994), p. 133 – 141. doi: 10.2166/wst.1992.0148 <https://doi.org/10.2166/wst.1992.0148>

## Capítulo 5

# DIAGNÓSTICO DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub>eq EN EL CENTRO DE ACOPIO Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS

José Ramón Laines Canepa  
Guadalupe Hernández Gerónimo  
Israel Ávila Lázaro  
José Aurelio Sosa Olivier<sup>1</sup>

### RESUMEN

El uso de factores de emisión ha sido implementado por la comunidad científica, sector industrial y gubernamental como herramienta para estimar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), los cuales relacionan la cantidad de un contaminante emitido a la atmósfera por la actividad en la cual se genera. Para agrupar diferentes GEI, estos se suelen expresar como CO<sub>2</sub>eq por unidad de actividad, y para el caso del reciclado de materiales residuales, por lo regular son expresados en kg o t de CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> de material. Con ello se pueden establecer y lograr objetivos de reducción de emisiones. Por lo tanto, el presente trabajo muestra la estimación de reducción de emisiones de GEI por la recuperación de materiales valorizables en el Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol).

---

<sup>1</sup>Coordinador del Programa de Acción de la DACBiol: manejo de residuos. División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Correo electrónico: aurelio.sosa@ujat.mx

## **Panorama actual en materia de emisiones de CO<sub>2</sub>eq**

Los residuos sólidos contribuyen a la generación de emisiones de GEI. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) tiene como objetivo último lograr la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Sin embargo, la emisión de GEI desde 1970 al 2000 ha ido en aumento, con una generación anual de 0.4 Gigatoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (Gt CO<sub>2</sub>eq), lo que representa solo un 1.3 % de aumento en el período. De 2000 a 2010, se aumentó 1.0 Gt CO<sub>2</sub>eq año<sup>-1</sup>, lo que representa un incremento del 2.2 % anual; en el año 2010 se registraron las emisiones antropógenas de GEI más altas de la historia de la humanidad, alcanzando 49±4.5 Gt CO<sub>2</sub>eq año<sup>-1</sup>, de los cuales el sector de suministro de energía contribuye con el 35 %, el cambio de uso de suelo con el 24 %, el sector industrial con el 21 %, el sector de transporte con el 14 % y edificios con un 6 % (IPCC, 2014). De igual forma la generación de residuos sólidos contribuye con el 5 % de las emisiones de GEI (Bogner et al., 2007).

En México, según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) en el año 2010 se estimó la emisión de 748 millones de toneladas de GEI en conversión de CO<sub>2</sub>eq, lo que representa un incremento del 33.40 %, respecto al año 1990 (SEMARNAT, 2013); en el año 2015 según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) en nuestro país se emitieron 683 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>eq, los sectores responsables son, consumo de combustibles fósiles con el 64 %, sistemas de

producción pecuaria con 10 %, procesos industriales con 8 %, manejo de residuos con 7 %, emisiones fugitivas por extracción de petróleo, gas y minería con 6 % y, actividades agrícolas con 5 % (INECC, 2018). En el INEGEI también se reporta que las emisiones de GEI en unidades de CO<sub>2</sub>eq generadas en la categoría de residuos pasando de 16,529.1 Gg (1990) a 44,130.8 Gg (2010) (SEMARNAT, 2013), debido al crecimiento de la población y a la disposición de residuos en rellenos sanitarios.

### **Situación de la generación de residuos sólidos**

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América ha analizado los resultados de GEI de 29 categorías de materiales y concluyó que la minimización de residuos y el reciclaje de materiales son alternativas recomendadas con respecto a la mitigación de GEI (USEPA, 2006). Se ha demostrado que el reciclaje de residuos de origen segregado puede contribuir a una reducción de GEI (Turner et al., 2015). Por lo que, a nivel mundial se han propuesto medidas para reducir la generación de GEI y se han realizado múltiples estudios sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>eq provenientes de la generación de RS, así como de los Factores de Emisión (FE) por cada tipo de residuo. Abeliotis et al. (2015) determinaron las emisiones de GEI en Grecia a partir del uso de factores de emisión, cuantificándose un total de 5,672.5 Gg de CO<sub>2</sub>eq en la generación de residuos de alimentos, en 2009. A nivel mundial la generación de residuos sólidos esta entre 7,000 a 10,000 millones de t año<sup>-1</sup>. En México la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) en promedio es de 103,126 t día<sup>-1</sup>, con una generación per cápita de 0.86 kg día<sup>-1</sup> (INEGI, 2016). Tabasco genera diariamente 1,805.90 t día<sup>-1</sup>, y la generación per cápita es de 0.76 kg día<sup>-1</sup> (INEGI, 2016).

## Factores de emisión

La cuantificación de emisiones de GEI es necesaria para alcanzar objetivos nacionales y de tratados internacionales en materia de cambio climático, por ende, en materia de la gestión de residuos es útil para identificar oportunidades de reducción de GEI, ya que relacionan la cantidad de un contaminante emitido a una unidad de actividad, por ejemplo, kg de CO<sub>2</sub> fósil por tonelada de material reprocesado, aunque de manera general los FE se suelen expresar como CO<sub>2</sub>eq por unidad de actividad para agrupar diferentes GEI, y para el caso del reciclado de materiales residuales, se expresa en kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup>. Existen diversos reportes que indican rangos de FE, comúnmente en materia de manejo de residuos estos valores se expresan en rangos negativos, lo que representa reducción de emisiones por el reciclado o recuperación de los materiales.

Damgaard et al. (2009) demostraron que el reciclaje de metales como el aluminio y el acero representa ahorros tanto en costos como en energía, respecto a la producción de fuentes primarias; actividad en la cual se reportan emisiones de 5,040 a 19,340 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> de aluminio y, en el caso del acero, de 560 a 2,360 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup>; en comparación, los procesos de reciclaje de estos metales generan de 360 a 1,260 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> de aluminio y de 400 a 1,020 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup>, para el acero. Larsen et al. (2009) estimaron las emisiones por el lavado de envases de vidrio para su reutilización, en 600 a 1,500 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> de vidrio; en el reciclaje para la elaboración de un nuevo producto, se estimaron 500 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> de vidrio refundido. Astrup et al. (2009) estimaron que la reducción de emisiones en los procesos de reciclaje de plásticos, incluido los diferentes procesos en la

elaboración de nuevos productos, con una reducción de -700 a -1500 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup>, producción de materiales sustitutos de madera (madera plástica), con una reducción de 70 a 500 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup>, y el uso de plástico para generar energía, que representa reducciones de -1200 a 50 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup>. Merrild y Christensen (2009) reportan que, en la elaboración de tableros de madera, se reducen -120 a -560 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> de madera reciclada, considerando las etapas de triturado, secado y el requerimiento energético para la elaboración de estos, siendo este último, el que requiere mayor consumo de energía, sobre todo en el uso de madera virgen, lo que favorece el uso de madera residual. Merrild et al. (2009) mencionan que, la producción de papel genera entre 490 y 1460 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> de materia prima virgen, el uso de material residual alcanza valores que van desde -1270 a 390 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup>, además de que la madera no utilizada como materia prima, puede sustituir a los combustibles fósiles, con lo cual también se podría contribuir a la reducción de emisiones de -1850 a -4400 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup>.

### **Análisis de ciclo de vida**

Los FE de GEI para el reciclaje de materiales residuales, son utilizados para determinar análisis de ciclo de vida (ACV), resaltando los indicadores de impacto potencial de cambio climático. El ACV es una metodología establecida y estandarizada internacionalmente (ISO, 2006), es la recopilación y evaluación de las entradas, resultados e impactos ambientales potenciales de un producto, desde la adquisición de la materia prima o de su generación a partir de recursos naturales, la cadena de producción, hasta su disposición final o reintegración a un ciclo productivo.

## **Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos (CATRE)**

La DACBiol cuenta con un registro de gran generador de residuos de manejo especial, lo que obliga a realizar diversas actividades de manejo interno, con el objetivo de minimizar la generación y maximizar la valorización de algunos de los materiales que se generen, he aquí donde el Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos (CATRE).

### ***Ubicación del sitio***

El Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos (CATRE) se encuentra en la División Académica de Ciencias Biológicas, a un costado del segundo acceso de la DACBiol, esto por la facilidad de ingreso del camión recolector de residuos (figura 1).

En el CATRE se reciben todos los residuos sólidos generados en la División e incluye: salones, oficinas, cafeterías, baños, pasillos y laboratorios (no peligrosos).

### ***Fuentes de generación***

En la DACBiol existen 26 fuentes de generación de los residuos sólidos (2017), las cuales envían estos, al CATRE (tabla 1). Las actividades preponderantes en ellas son, docencia, investigación, mantenimiento, servicios y venta de insumos y alimentos.

### ***Generación de residuos***

La generación de residuos se registró por períodos semestrales 2017-1 y 2017-2, comprendidos de los meses de febrero-julio y agosto-enero, respectivamente.

Las actividades de docencia y venta de insumos y alimentos (Actividades de mayor generación de RS), se realizan en su mayoría, de lunes a viernes. Las demás actividades, se llevan a cabo de lunes a sábados. Con base en ello, la generación de RS en la División es considerada de lunes a viernes, días en los que el personal de intendencia labora habitualmente, y son quienes realizan la recolección en las fuentes y el transporte de los RS al CATRE, en cuatro horarios diferentes. Los RS que llegan al CATRE son identificados, cuantificados, segregados, valorizados, almacenados y dispuestos finalmente (figura 2).

Una vez identificado y cuantificado el peso inicial de los RS, se realiza la actividad de separación (figura 3) por el personal que labora en el CATRE (figura 4). Los RS son separados en 18 subproductos generales (tabla 2).

Posteriormente, se realiza una separación de forma secundaria (figura 5), con la que se busca la recuperación de materiales valorizables en el mercado, o los que tengan características susceptibles de ser aprovechados (tabla 3), aquellos que no acreditan ninguna de las dos anteriores, son dispuestos finalmente, para lo cual son colocados en el área de transferencia del CATRE.

En la tabla 4 se aprecia que la generación total en el primer semestre del período 2017 fue de 15.51 t, de las cuales únicamente se logró recuperar 3.63 t de subproductos valorizables, lo que representa el 23.45 % del total. El residuo de mayor generación fue materia orgánica de origen vegetal (1.24 t), seguido de cartón (0.56 t) y papel de oficina (0.44 t), mientras que el menos generado fue el polivinilo de cloruro (PVC).

Es posible apreciar que, en el segundo semestre de 2017 (tabla 5), la generación de residuos fue de 15.52 t (apenas 11.03 kg mayor que el semestre anterior), sin embargo, el porcentaje de recuperación fue de 22.16 %, lo cual corresponde a una cantidad de 3.44 t de subproductos valorizables, ya que en los meses de diciembre y enero hubo menor generación de RS y, por lo tanto, menor recuperación de subproductos, esto se debe a que el período vacacional fue más largo.

En general, en el período febrero 2017 y enero 2018 (figura 6), la generación total de RS fue de 31.04 t, y la cantidad de subproductos valorizables fue de 7.08 t (22.80 %). El promedio de generación es de 147.10 kg día<sup>-1</sup>, ligeramente menor a lo citado por Tapia et al. (2016), quienes mencionan que en 2014 la generación diaria promedio fue de 172.97 kg día<sup>-1</sup>. En la figura 7 se aprecia la cantidad que representa cada subproducto identificado en la generación de RS durante el año 2017.

### ***Factores de emisión de CO<sub>2</sub>eq***

Los factores de emisión de CO<sub>2</sub>eq para cada tipo de residuo se extrajeron de literatura publicada (tabla 6). En su mayoría, estos factores se consideran en unidades de kg de CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> de materiales.

### ***Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>eq***

Para estimar la emisión reducida de CO<sub>2</sub>eq por la recuperación de materiales inorgánicos valorizables en el CATRE, esta fue calculada mediante la ecuación:

$$kg \text{ CO}_2\text{eq} = t * FE$$

Donde:

*t*: Toneladas recuperadas

*FE*: Factor de emisión

La recuperación de subproductos en el primer semestre de 2017 (tabla 7) es de 3.64 t, lo que representa aproximadamente 2.99 t de CO<sub>2</sub>eq reducidas (-) en el mismo período. En un balance general, la cantidad neta de GEI emitidas es de 0.89 t CO<sub>2</sub>eq, mientras que se reducen (-)3.89 t CO<sub>2</sub>eq. Las celdas que contienen datos de residuos de comida, textil, PVC y Tetrapack®, no fueron considerados en el sumatorio total de subproductos, debido a su nula valorización en el mercado.

La recuperación de subproductos en el segundo semestre de 2017 (tabla 8) es de 3.44 t y representa 3.76 toneladas de CO<sub>2</sub>eq reducidas (-). El balance general de GEI emitidos es de 0.27 t CO<sub>2</sub>eq y una reducción de 4.03 t CO<sub>2</sub>eq. Finalmente, para el año 2017 la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>eq fue de 6.76 t (figura 8).

### **Propuestas de mejora**

Los avances en materia de manejo de residuos tienen importantes avances, tanto en la recepción, separación, cuantificación y valorización, sin embargo, es necesario mantener en condiciones adecuadas las instalaciones y equipos utilizados para realizar las actividades mencionadas, incorporando el área de CATRE en el programa de mantenimiento de la DACBiol. Además, se consideran relevantes los siguientes puntos para la mejora del área y elevar los indicadores de cuantificación y recuperación de materiales.

- a) Establecer jornadas de capacitación a personal académico, administrativo, de servicios y, sobre todo, al personal de intendencia, en materia de manejo integral de residuos de la DACBiol, incluyendo el manejo de los residuos peligrosos.
- b) Rediseñar el sistema de acopio temporal de residuos en pasillos y salones, con la finalidad de favorecer flujos constantes de residuos, en el proceso de recepción, separación y transportación a disposición final.
- c) Adecuada separación de los residuos sanitarios, de los residuos con características urbanas (salones, oficinas, pasillos), para reducir riesgos por el manejo e incrementar la recuperación de materiales.
- d) Incentivar a los estudiantes participantes en programas de manejo de residuos, para incrementar la retención y, el desarrollo de investigación y tecnología acorde al funcionamiento del centro de acopio y tratamiento de residuos.

Obtener factores de emisión propios, para algunos subproductos particulares como, por ejemplo, residuos orgánicos ya que, por las actividades y condiciones geográficas, influyen en diferencias con los valores bibliográficos.



Figura 1. Ubicación del Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos (CATRE).

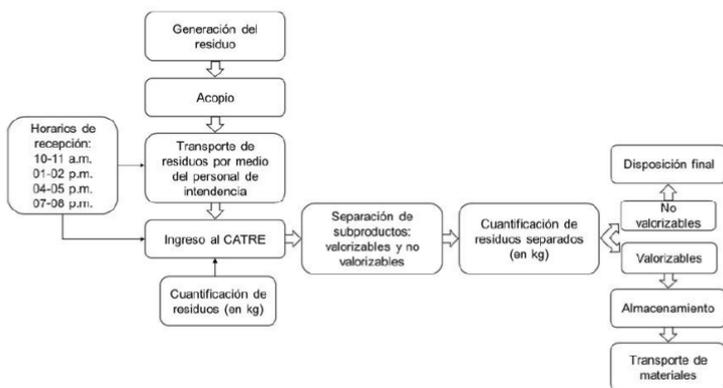


Figura 2. Manejo de residuos acopiados en el CATRE.



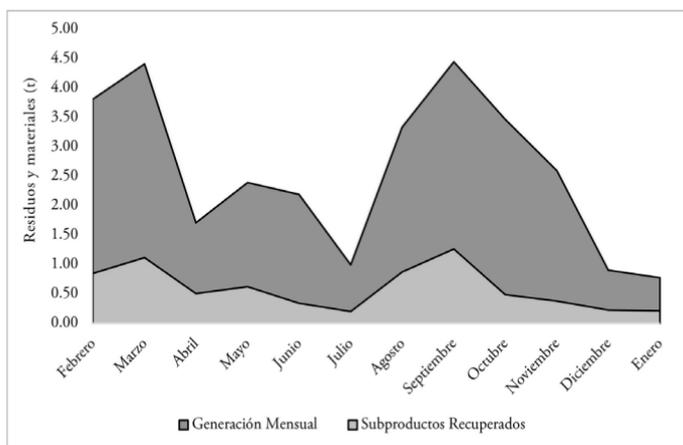
*Figura 3.* Actividad de separación y recuperación de materiales.



*Figura 4.* Personal involucrado en la separación de RS.



*Figura 5.* Separación secundaria.



*Figura 6.* Comparativo de generación de residuos respecto a la recuperación de materiales.

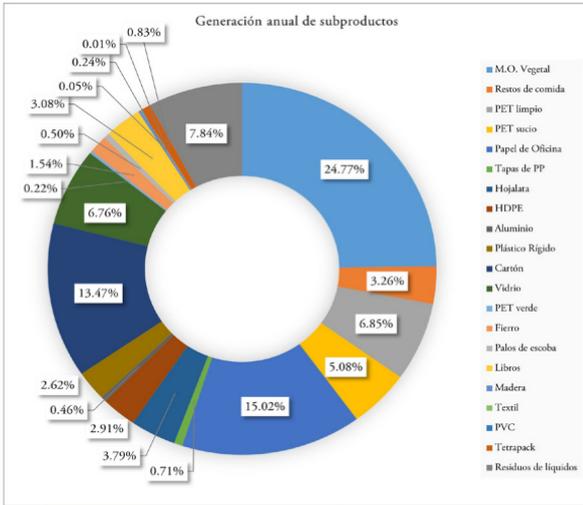


Figura 7. Principales subproductos generados en 2017.

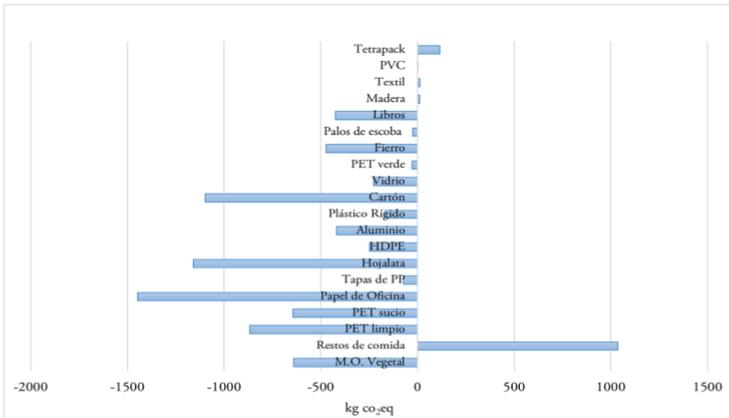


Figura 8. Concentrado de emisiones anuales reducidas y emitidas, por subproducto.

**Tabla 1.**

Fuentes de generación de residuos.

<b>Fuentes de generación de residuos en DACBIol</b>	
1. Domo Administrativo	14. Edificio Multifuncional (Laboratorios)
2. Herbario	15. Edificio de Fauna
3. CICART*	16. UMA* de cocodrilos y tortugas
4. Edificio A	17. Acuicultura
5. Edificio B	18. Cafetería “Mis Tres Amores”
6. Edificio C	19. Cafetería “El Rinconcito”
7. Edificio D	20. Cafetería “El Cafecito”
8. Edificio E	21. Puesto “Cré-Pasó”
9. Edificio F	22. Puesto de aguas
10. Edificio H	23. Papelería
11. Edificio Dr. Andrés Reséndez Medina	24. Caseta de vigilancia
12. Biblioteca	25. UVPyS*
13. Edificio Manuel Gurria Ordóñez	26. Mantenimiento (pasillos)

\*CICART: Centro de Investigación para la Conservación y Aprovechamiento de Recursos Tropicales. \*UMA: Unidad de Manejo Sustentable

\*UVPyS: Unidad de Vinculación de Programas y Servicios.

**Tabla 2.**

Principales subproductos generados en la DACBIol.

<b>Subproductos identificados</b>	
1. Materia Orgánica vegetal	10. Hojalata
2. Restos de comida	11. Cartón
3. Polietileno tereftalato (PET)	12. Papel de oficina
4. Tapas de polipropileno (PP)	13. Libros
5. Polipropileno de alta densidad (PEAD)	14. Vidrio
6. Policloruro de vinilo (PVC)	15. Madera
7. Plástico rígido	16. Aleaciones de Hierro
8. Aluminio	17. Lixiviados
9. Textiles	18. Cartones de alimentos y bebidas compuestas (Tetrapack*)

**Tabla 3.**  
Subproductos valorizables.

<b>Subproductos valorizables</b>	
1. Materia Orgánica vegetal	8. Hojalata
2. Polietileno tereftalato (PET)	9. Cartón
3. Tapas de polipropileno (PP)	10. Papel de oficina
4. Polipropileno de alta densidad (PEAD)	11. Libros
5. Plástico rígido	12. Vidrio
6. Aluminio	13. Madera (únicamente palos de escoba o trapeador)
7. Aleaciones de Hierro	

**Tabla 4.**  
Generación de total de residuos y subproductos en el primer semestre de 2017.

<b>Semestre 2017-1</b>							
<b>Generación Mensual (t)</b>							
<b>Subproductos</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Total de subproductos</b>
Generación Mensual	3.8133	4.4079	1.7112	2.3956	2.1912	0.9971	15.516
M.O. Vegetal	0.340	0.391	0.149	0.293	0.060	0.013	1.246
Restos de comida	0.047	0.087	0.023	0.045	0.020	0.003	0.224
PET limpio	0.038	0.056	0.019	0.029	0.010	0.012	0.162
PET sucio	0.081	0.098	0.029	0.053	0.046	0.014	0.322
Papel de Oficina	0.097	0.131	0.096	0.041	0.060	0.020	0.444
Tapas de PP	0.008	0.010	0.003	0.006	0.004	0.001	0.032
Hojalata	0.037	0.050	0.020	0.044	0.028	0.011	0.189
HDPE	0.029	0.031	0.013	0.020	0.014	0.005	0.111
Aluminio	0.006	0.005	0.001	0.002	0.001	0.001	0.016
Plástico Rígido	0.027	0.030	0.002	0.004	0.013	0.032	0.108
Cartón	0.100	0.199	0.063	0.083	0.068	0.052	0.563

Vidrio	0.060	0.081	0.104	0.032	0.020	0.020	0.317
PET verde	0.002	0.003	0.001	0.002	0.002	0.001	0.010
Fierro	0.019	0.032	0.003	0.014	0.006	0.010	0.084
Palos de escoba	0.002	0.004	0.003	0.002	0.014	0.008	0.031
Libros	-	-	-	-	-	0.002	0.002
Madera	-	-	-	-	-	0.002	0.002
Textil	-	-	-	-	-	0.001	0.001
PVC	-	-	-	-	-	0.0002	0.0002
Tetrapack*	-	-	-	-	-	0.004	0.004
Subproductos recuperados	0.893	1.206	0.528	0.668	0.364	0.210	3.639
Disposición final	2.920	3.202	1.183	1.727	1.827	0.787	11.876
Recuperación (%)	23.42	27.36	30.88	27.89	16.63	21.10	23.456

**Tabla 5.**

Generación de total de residuos y subproductos en el segundo semestre de 2017.

Semestre 2017-2							
Generación Mensual (t)							
Subproductos	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Total de subproductos
Generación Mensual	3.337	4.446	3.467	2.594	0.906	0.776	15.527
M.O. Vegetal	0.220	0.263	0.164	0.103	0.000	0.002	0.753
Restos de comida	0.005	0.018	0.010	0.005	0.000	0.001	0.039
PET limpio	0.070	0.133	0.096	0.059	0.023	0.009	0.390
PET sucio	0.089	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.089
Papel de Oficina	0.138	0.404	0.040	0.051	0.022	0.113	0.768
Tapas de PP	0.002	0.009	0.007	0.004	0.002	0.001	0.025
Hojalata	0.037	0.030	0.022	0.022	0.003	0.003	0.117
HDPE	0.038	0.032	0.029	0.020	0.003	0.002	0.123
Aluminio	0.008	0.004	0.004	0.002	0.001	0.001	0.021
Plástico Rígido	0.026	0.056	0.009	0.002	0.009	0.001	0.103

Cartón	0.127	0.145	0.079	0.081	0.038	0.053	0.523
Vidrio	0.069	0.065	0.025	0.025	0.037	0.006	0.229
PET verde	0.003	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.008
Fierro	0.017	0.019	0.001	0.000	0.003	0.000	0.040
Palos de escoba	0.002	0.000	0.000	0.004	0.000	0.003	0.009
Libros	0.029	0.101	0.011	0.006	0.081	0.020	0.246
Madera	0.003	0.004	0.002	0.004	0.004	0.001	0.018
Textil	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003
PVC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tetrapack*	0.006	0.019	0.016	0.014	0.004	0.003	0.063
Subproductos recuperados	0.849	1.181	0.489	0.379	0.142	0.219	3.442
Disposición final	2.488	3.265	2.979	2.216	0.764	0.557	12.085
Recuperación (%)	25.44	26.57	14.09	14.59	15.70	28.27	22.168

**Tabla 6.**

Factores de emisión de residuos (Turner et al., 2015).

Grupos de materiales	Tipo de material	Factor de emisión calculado kg CO <sub>2</sub> eq t <sup>-1</sup>		Factores de emisión de la literatura		
		Bruto	Neto	No. referencias	Rango	
Vidrio	Vidrio	395	-314	6	-762 a -201	-417 ± 176
Papel	Papel	1576	-459	7	-3891 a 390	-1195 ± 1303
	Libros	562	-117	3	-3428 a -811	-1709 ± 1489
Metal	Latas de aluminio	1113	-8143	7	-19340 a -5040	-11334 ± 3512
	Otras chatarras de metal	883	-3577	3	-4828 a -2573	-3789 ± 1138

Plástico	Mezcla de Plásticos	339	-1024	6	-2324 a -1470	-788 ± 1007
	PET	155	-2192	6	-2324 a -566	-1570 ± 600
	HDPE	379	-1149	5	-2324 a -253	-1055 ± 792
	PVC	379	-1549	3	-2324 a -566	-1259 ± 936
	PP	379	-1184	3	-2324 A -566	-1279 ± 925
Madera	Madera	502	-444	5	-2712 a 1	-619 ± 882
Compuestos	Cartones de alimentos y bebidas compuestas	629	-452	1	-	-1730
Textiles	Solo textiles	401	-3376	5	-7869 a -930	-3606 ± 2709
Orgánicos*	Restos de comida	-	-3942	1	-	-
	Restos de vegetales y frutas	-	-320	1	-	-

\* (Abeliotis et al., 2015)

**Tabla 7.**

Emisiones de kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> de residuos, semestre febrero – julio 2017

Semestre 2017-1									
Generación Mensual (t)									
Subproductos	Factor de emisión	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Total de subproductos	Emisión (kg CO <sub>2</sub> eq)
M.O. Vegetal	-320	0.340	0.391	0.149	0.293	0.060	0.013	1.246	-398.71
Restos de comida	3942	0.047	0.087	0.023	0.045	0.020	0.003	0.224	883.72
PET limpio	-1570	0.038	0.056	0.019	0.029	0.010	0.012	0.163	-255.27
PET sucio	-1570	0.081	0.098	0.029	0.053	0.046	0.014	0.322	-505.08
Papel de Oficina	-1195	0.097	0.131	0.096	0.041	0.060	0.020	0.444	-530.52
Tapas de PP	-1279	0.008	0.010	0.003	0.006	0.004	0.001	0.032	-40.67
Hojalata	-3789	0.037	0.050	0.020	0.044	0.028	0.011	0.189	-716.80
HDPE	-1055	0.029	0.031	0.013	0.020	0.014	0.005	0.112	-117.66

Aluminio	-11334	0.006	0.005	0.001	0.002	0.001	0.001	0.016	-183.50
Plástico Rígido	-788	0.027	0.030	0.002	0.004	0.013	0.032	0.108	-85.25
Cartón	-1010	0.100	0.199	0.063	0.083	0.068	0.052	0.564	-569.57
Vidrio	-417	0.060	0.081	0.104	0.032	0.020	0.020	0.317	-132.06
PET verde	-1570	0.002	0.003	0.001	0.002	0.002	0.001	0.010	-16.41
Fierro	-3789	0.019	0.032	0.003	0.014	0.006	0.010	0.084	-318.50
Palos de escoba	-619	0.002	0.004	0.003	0.002	0.014	0.008	0.031	-19.25
Libros	-1709	-	-	-	-	-	0.002	0.002	-3.93
Madera	619	-	-	-	-	-	0.002	0.002	1.04
Textil	3606	-	-	-	-	-	0.001	0.001	3.46
PVC	1259	-	-	-	-	-	0.000	0.000	0.28
Tetrapack*	1730	-	-	-	-	-	0.004	0.004	6.06
								Emisiones emitidas	893.51
								Emisiones reducidas	-3892.15
								Emisiones netas	-2998.64

\*Nota: Las filas sombreadas, representan subproductos que no fueron valorizados en 2017.

**Tabla 8.**

Emisiones de kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> de residuos, semestre septiembre 2017 – enero 2018

Semestre 2017-2									
Generación Mensual (t)									
Subproductos	Factor de emisión	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero (2018)	Total de subproductos	Emisión (kg CO <sub>2</sub> eq)
M.O. Vegetal	-320	0.220	0.263	0.164	0.103	0.000	0.002	0.753	-240.82

Restos de comida	3942	0.005	0.018	0.010	0.005	0.000	0.001	0.039	152.99
PET limpio	-1570	0.070	0.133	0.096	0.059	0.023	0.009	0.390	-612.28
PET sucio	-1570	0.089	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.089	-138.95
Papel de Oficina	-1195	0.138	0.404	0.040	0.051	0.022	0.113	0.768	-917.43
Tapas de PP	-1279	0.002	0.009	0.007	0.004	0.002	0.001	0.025	-32.44
Hojalata	-3789	0.037	0.030	0.022	0.022	0.003	0.003	0.117	-441.65
HDPE	-1055	0.038	0.032	0.029	0.020	0.003	0.002	0.123	-130.26
Aluminio	-11334	0.008	0.004	0.004	0.002	0.001	0.001	0.021	-234.50
Plástico Rígido	-788	0.026	0.056	0.009	0.002	0.009	0.001	0.103	-81.02
Cartón	-1010	0.127	0.145	0.079	0.081	0.038	0.053	0.523	-528.01
Vidrio	-417	0.069	0.065	0.025	0.025	0.037	0.006	0.229	-95.33
PET verde	-1570	0.003	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.008	-11.84
Hierro	-3789	0.017	0.019	0.001	0.000	0.003	0.000	0.040	-153.04
Palos de escoba	-619	0.002	0.000	0.000	0.004	0.000	0.003	0.009	-5.56
Libros	-1709	0.029	0.101	0.011	0.006	0.081	0.020	0.246	-420.86
Madera	619	0.003	0.004	0.002	0.004	0.004	0.001	0.018	11.07
Textil	3606	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	9.81
PVC	1259	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.58
Tetrapack	1730	0.006	0.019	0.016	0.014	0.004	0.003	0.063	109.11
								Emisiones emitidas	272.49
								Emisiones reducidas	-4032.90
								Emisiones netas	-3760.42

\*Nota: Las filas sombreadas, representan subproductos que no fueron valorizados en 2017.

## REFERENCIAS

Abeliotis, K.; Lasaridi, K. y Costarelli, V. (2015). The implications of food waste generation on climate change: The case of Greece. Sustainable Production and Consumption. 3: 8-14.

- Astrup, T.; Fruergaard, T. y Christensen, T. H. (2009). Recycling of plastic: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management y Research*. 27: 763–772.
- Bogner, J.; Abdelrafie, A.M., Díaz, C.; Faaij, A.; Gao, Q. y Hashimoto, S. (2007). *Climate Change 2007: Mitigation Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the International Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. Waste management In. 587-618.
- Damgaard, A.; Larsen, A.W. y Christensen, T.H. (2009). Recycling of metals: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management y Research*. 27:773-780.
- Hernández Gerónimo, G. (2018). Estimación de la emisión de  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  de materiales recuperados en el centro de acopio y tratamiento de residuos de la DACBiol (Tesis de Licenciatura en Ingeniería Ambiental). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Tabasco, México.
- INEGI. (2016). Estadísticas a propósito del Día Mundial del Medio Ambiente. México.
- International Organization for Standardization (ISO), 14040 (2006). Gestión ambiental-Análisis del ciclo de vida. Recuperado de: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- Larsen, A.W.; Merrild, H. y Christensen, T.H. (2009). Recycling of glass: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *wmyr*. 27: 754–762.
- Merrild, H.; Damgaard, A. y Christensen, T.H. (2009). Recycling of paper: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management y Research*. 27: 746–753.
- Merrild, H. y Christensen, T.H. (2009). Recycling of wood for particle board production: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management y Research*. 27: 781-788.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC). (2014). Cambio Climático 2014, Informe de síntesis. NY, Estados Unidos de América. Recuperado de: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2013). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>
- Tapia A.; Laines J. y Sosa J. (2017). Codigestión de residuos sólidos orgánicos generados en las cafeterías de la división académica de ciencias biológicas. *Journal of Energy, Engineering, Optimization and Sustainability (JEEOS)* 1(1): 71-82
- Turner, D.A.; Williams, I.D. y Kemp, S. (2015). Greenhouse gas emission factors for recycling of source-segregated waste materials. *Resources, Conservation and Recycling*. 105: 186-197.
- United State Environmental Protection Agency (USEPA). (2006). *Solid Waste Management and Greenhouse Gases – A Life Cycle Assessment of Emissions and Sinks* (3rd ed.). Washington DC, USA: United States Environmental Protection Agency. 1-170.

## Capítulo 6

# CARACTERIZACIÓN DE SUELO EN EL JARDÍN BOTÁNICO JOSÉ NARCISO ROVIROSA Y EL TINTAL

Wendy Viridiana Velázquez Vázquez  
Karla Cristel Cámara Moguel<sup>1</sup>

### RESUMEN

El suelo es una matriz heterogénea formada por minerales, materia orgánica, microorganismos, agua y aire; su importancia radica en los servicios ambientales que provee. Dentro de los servicios ambientales se encuentra la captura de carbono, siendo el suelo, el mayor sumidero de este elemento y contribuyendo globalmente a la regulación de su ciclo biogeoquímico. Es por esto que se realizó un diagnóstico básico de los suelos de tres sitios ubicados en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) con la finalidad de obtener sus características fisicoquímicas y la clasificación de estos como un primer estudio que ayude a sentar las bases para la determinación de la contribución de estos suelos a la captura de carbono. Para ello se determinaron los parámetros de pH, porcentaje de humedad higroscópica (%HH), porcentaje de humedad a capacidad de campo (%HCC), textura y porcentaje de materia orgánica

<sup>1</sup>Coordinadora del Programa de Acción de la DACBiol: caracterización suelos; División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Correo electrónico: karla.camara@ujat.mx

(%MO) a dos profundidades, de 0-30 y de 30-60 cm. Los resultados obtenidos indican que en la DACBiol-UJAT se cuenta con suelos medianamente alcalinos en los tres sitios (pH máximo de 8.60); el %HCC es mayor a profundidad de 0-30 cm en los tres sitios, disminuyendo paulatinamente a mayor profundidad; el sitio JB1 tuvo mayor %MO en las dos profundidades siendo mayor de 30-60 cm (13.60 y 18.50); el sitio más rico en arcillas en las dos profundidades fue T1, aumentando con la profundidad (44.28 y 45.52%, respectivamente). Con base en los resultados obtenidos, se determina que el tipo de suelo en JB1 es Gleysol mólico, el área T1 presenta un suelo Vertisol con algunas asociaciones de Gleysol y, en P1 el suelo es Gleysol éutrico.

## INTRODUCCIÓN

Soil Survey Staff (como se citó en Palma, 2007) define al suelo como un cuerpo natural formado por sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurre sobre la superficie de la tierra, ocupa un espacio y tiene una o ambas de las siguientes características: horizontes o capas que se diferencian del material inicial como el resultado de adiciones, pérdidas, transferencia y transformaciones de energía y materia o por la habilidad de soportar raíces de plantas en un ambiente natural.

En todos los ecosistemas, los suelos cumplen con importantes funciones de las cuales se derivan servicios ambientales indispensables para el sostenimiento tanto del ecosistema como de la vida humana. La función más conocida es la de soporte y suministro de nutrientes a las plantas (Cotler, Sotelo, Domínguez, Zorrilla, Cortina y Quiñones, 2007).

Los servicios ambientales son los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas. Comúnmente se clasifican en servicios de soporte, regulación, provisión y culturales. El suelo, al formar parte de los ecosistemas, contribuye de manera sustancial a la provisión de servicios ambientales, principalmente de las primeras tres categorías, que son indispensables para el sustento de la humanidad (Astier, Maass y Etchevers-Barra, 2002).

La FAO declara 2015 el año internacional del suelo debido a que es un recurso finito, lo cual implica que su pérdida y degradación no son reversibles en el curso de una vida humana. Este componente, es fundamental de los recursos de tierras, del desarrollo agrícola y la sostenibilidad ecológica, es la base para la producción de alimentos, piensos, combustibles, fibras y de muchos servicios ecosistémicos esenciales.

La mitad del carbono de los ecosistemas forestales se encuentra en el piso forestal y en el suelo, este valor varía con el tipo de bioma. Los bosques templados se establecen sobre diversos tipos de suelo; sin embargo, la información sobre las características físicas, químicas y biológicas de estos suelos y su influencia en el ciclo del carbono es escasa (Galicia et al., 2015). Debido a esto, el objetivo de este trabajo es realizar un primer análisis de características fisicoquímicas de suelos ubicados en tres áreas de la DACBiol.

En la DACBiol existen áreas de interés debido a que albergan diversos tipos de vegetación y fauna. Por ello este trabajo pretende caracterizar el tipo de suelo que hay en cada sitio con la finalidad principal de un estudio fisicoquímico del suelo para

posteriormente analizar su función como sumidero de carbono. Dentro de estas zonas podemos encontrar el “tintal” (T1) que es una selva baja espinosa perennifolia, en la que podemos encontrar árboles con troncos poco robustos y tinto que es la especie predominante. Los suelos en los que se distribuyen principalmente son hidromórficos, gleysoles e histosoles que ocupan el 34 % del estado de Tabasco (Palma et al., 2007; Zavala et al., 2016). Otros suelos en los que se desarrolla el tintal son los Fluvisoles en contacto de cuerpos de agua como ríos y lagunas, Vertisoles y los no hidromórficos con drenaje interno pobre (Pérez et al., 2005; Pennington y Sarukhán, 2005). Este ecosistema ofrece servicios ambientales como sumideros de carbono (Hernández, 2010). El jardín botánico (JB1), se encuentra a 250 m del tintal, en él originalmente existía una vegetación secundaria conocida localmente como acahual. Su vegetación en su gran mayoría está compuesta por árboles, arbustos, herbáceas y gramíneas durante todo el año (Sosa, Cabrera y Pérez, 2006). La zona de pastizal (P1) se ubica a 200 m de T1 y a 450 m de JB1, se denomina así por la presencia de gramíneas (pastos), pocos árboles y arbustos. Los pastizales prestan servicios ambientales como combustibles, contribuyen a la regulación del clima, la captura de carbono, entre otros. (Biodiversidad mexicana, 2018).

## MÉTODO

Se realizaron tres muestreos en parcelas permanentes en los sitios T1, P1 y JB1 de la DACBiol (figura 1). Las muestras fueron colectadas como lo especifica el Manual de CONAFOR, Re-muestreo, 2011. Se tomaron nueve muestras por sitio con cuatro metros de distancia entre cada muestra, el método

empleado para marcar los puntos fue en forma de zigzag. En el sitio P1 se tomaron seis muestras debido a las condiciones de la zona, área con agua en la mayor parte de la superficie del sitio y condiciones de elevada temperatura, sin sombra arbórea.

Se tomaron muestras de hojarasca (HO) y humus normalmente conocida como capa de fermentación (CF). Para esto, se trazó un cuadro de muestreo de 30 cm x 30 cm (figura 2), se midió el espesor de la capa de HO y se colocó el material vegetal presente en una bolsa de polietileno de 20 cm x 30 cm (figura 3), se procedió a obtener el peso de la muestra. En el mismo transecto, una vez limpio de la capa de HO, se midió el espesor de la CF y se colocó en una bolsa de polietileno de igual tamaño que la utilizada para HO, se obtuvo su peso.

Las muestras de suelo fueron tomadas en los mismos puntos en los que se muestrearon HO y CF. Después de retirar las capas de hojarasca y de fermentación, se extrajeron muestras a dos profundidades, de 0-30 cm y de 30-60 cm. Para la extracción de la muestra de suelo a la profundidad de 0-30 cm, se colocó la barrena en el centro del transecto y se giró manualmente hasta completar la capacidad de la barrena (30 cm de largo), la muestra extraída con la barrena se colocó en una bolsa de polietileno de 30 cm x 30 cm y se pesó. Para obtener la muestra de suelo a una profundidad de 30-60 cm, se realizó una extracción más en el orificio previamente perforado, la muestra se colectó y pesó utilizando el procedimiento mencionado anteriormente (figura 4).

Las muestras de HO, CF y suelo se dejaron secar durante 15 días a la sombra como lo menciona el Manual de CONAFOR, en un área cerrada con poca ventilación. Se colocaron sobre

la misma bolsa de colecta, pero esparciendo éstas de manera homogénea y con una altura de 2 cm para ayudar al proceso de secado (figura 5).

Después de 15 días, se obtuvieron los pesos de las muestras de HO, CF y suelo. Estas últimas fueron pasadas a través de un tamiz de malla número 10 para obtener un tamaño de partícula menor o igual a 2 mm, acorde a lo establecido en la NOM-021 (SEMARNAT, 2000). Se almacenaron en frascos de polietileno de 1L de capacidad con cierre de rosca y se guardaron para análisis posteriores.

Los análisis realizados para la caracterización de las muestras de suelo fueron: potencial de hidrógeno (pH), humedad higroscópica (%HH), humedad a capacidad de campo (%HCC), materia orgánica (%MO) y clase textural. A continuación, se describen las técnicas utilizadas.

La medición del pH se realizó a través del método AS-02 de acuerdo con la NOM-021 (SEMARNAT, 2000). Se pesaron 10 g de muestra, se adicionaron 20 mL de agua destilada y se agitó manualmente con una varilla de vidrio durante 5 minutos dejando reposar 15 minutos, esto en un tiempo total de 30 minutos. Una vez que se dejó reposar por 15 minutos en una segunda ocasión, se midió el pH con un potenciómetro portátil Hanna HI 98128 (pHep®5) resolución 0.01 pH.

El %HH se realizó a través del método AS-05 tomado de la NOM-021 (SEMARNAT, 2000). Se lavaron los crisoles con tapa y se colocaron en estufa durante 24 horas a una temperatura de 105°C para obtener su peso constante. Se pesaron 30 g de muestra en cada crisol, estos fueron trasladados con tapa a la

estufa, una vez dentro, se destaparon y se dejaron por 24 horas a una temperatura de 105 °C. Pasado este tiempo, se pasaron a un desecador para después obtener el peso final.

La técnica para analizar la humedad a capacidad de campo (%HCC) se tomó del manual de Prácticas de edafología de Ortiz y Ortiz (1984) (como se citó en Campos, 2012). Para esto, se pesaron 60 g de suelo y se colocaron en un vaso desechable con perforaciones en la base. Se añadió agua hasta humedecer completamente el suelo. Se dejó secar por 48 horas a temperatura ambiente para después secar en estufa a 105°C por 24 horas en crisoles tapados previamente.

Para obtener el %MO se utilizó el método AS-07 de Walkley y Black tomado de la NOM-021 (SEMARNAT, 2000). Se pesaron 0.5 g de suelo, se le adicionaron 10 mL de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 1 N girando el matraz para que dicha solución estuviera en contacto con la muestra. Se agregaron 20 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado girando nuevamente el matraz y agitando de esta manera por 1 minuto. Se dejó reposar durante 30 minutos sobre una lámina de asbesto. Después se añadieron 200 mL de agua destilada, 5 mL de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) concentrado y 6 gotas de difenilamina ( $C_{12}H_{11}N$ ) como indicador para finalmente titular con sulfato ferroso gota a gota hasta un vire a verde claro.

La determinación de la clase textural del suelo se realizó por el método de Bouyoucos de acuerdo con la NOM-021 (SEMARNAT, 2002). Se pesaron 60 g de suelo, a los cuales se agregaron 40 mL de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) al 30% dejando evaporar hasta sequedad, esto se repitió hasta que la muestra dejó de mostrar reacción de efervescencia al  $H_2O_2$ . Una

vez eliminada la materia orgánica, se pesaron 50 g de suelo, se adicionó agua destilada hasta cubrir la superficie de la muestra, se agregaron 5 mL de oxalato de sodio ( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) saturado y 5 mL de metasilicato de sodio 36 g/L. Se dejó reposar por 15 minutos. Pasado este tiempo, se agitó la muestra con un agitador mecánico (batidora industrial Oster de 2 velocidades 110 W) por 5 minutos, y se colocó el contenido en una probeta de 1 L agregando agua destilada hasta la marca de aforo con el hidrómetro dentro, se sacó este y se agitó el contenido de la probeta manualmente durante 1 minuto. Se tomaron lecturas con el hidrómetro 40 segundos y 2 horas después de haberse agitado manualmente. Después de cada lectura con el hidrómetro se registró la temperatura.

## RESULTADOS

Los valores obtenidos de pH nos indican que las muestras de suelo de los tres sitios (T1, P1 y JB1) en ambas profundidades son medianamente alcalinas presentando un mínimo incremento a profundidad de 30-60 cm en los tres sitios (tabla 1). Los resultados entre cada muestra presentan picos relativamente variables, pero manteniendo valores entre 8.00 y 9.00 (figura 6). Estos resultados nos indican, acorde a lo publicado por Ansorena (1995), que puede haber presencia de iones nitrato, calcio, fosfato, magnesio, sulfuro y molibdeno, los cuales están presentes a pH alcalino. Por su parte, Garrido (1994) menciona que si el suelo es básico (por ejemplo, suelos calizos) entonces el complejo de cambio del suelo está saturado y el exceso de calcio en el medio impide que otros elementos, tales como el hierro, puedan ser absorbidos por las plantas. Por otra parte, Sotelo, Gutiérrez, Cruz, Ortiz y Segura, (2008) mencionan

que los suelos alcalinos propician que haya árboles con troncos poco robustos, como en T1; gran cantidad de arbustos y pastos, como en P1. Suárez, Campos y Cruz, (2015) mencionan que los suelos de sitios de acahual y selva presentan un pH neutro y ligeramente alcalino y, Sosa, Cabrera y Pérez observaron en un acahual especies arbustivas y gramíneas, como en JB1.

En cuanto a la humedad higroscópica, los resultados obtenidos nos indican que los sitios muestreados retienen poca humedad, presentando valores promedio que oscilan entre 3.04 %HH y 4.19 %HH, disminuyendo ligeramente a mayor profundidad (tabla 1). El sitio que presentó mayor %HH fue T1, seguido de JB1 y en menor %HH el sitio P1. El %HH en las muestras del sitio JB1 en ambas profundidades se mantienen constantes entre cada una de ellas sin presentar variabilidad. Mientras que las muestras de P1 en las dos profundidades y T1 de 30-60 cm son las que presentaron mayor variabilidad entre cada una (figura 7). Estas diferencias marcadas en el sitio P1 pueden deberse a que el muestreo fue complicado por el sitio, lo que hizo que se modificara el método en cuanto a la distancia entre cada una. El %HH relativamente bajo es común en regiones de estas características en las que existe vegetación correspondiente a una selva baja inundable perennifolia.

Los suelos alcalinos no permiten una adecuada aireación del suelo, tienen baja capacidad de retención del agua, lo que disminuye la capacidad total de intercambio catiónico restringiendo una reserva de elementos nutritivos. La humedad aprovechable es inherente al tipo de suelo y se modifica por las prácticas agrícolas, por lo que su valor es sitio-específico (Salcedo, Galvis, Hernández, Rodríguez, Zamora, Bugarin y Carrillo, 2007).

El %HCC en los tres sitios T1, P1 y JB1 es mayor a profundidad de 0-30 cm, disminuyendo a profundidades de 60 cm. Entre mayor cantidad de arcilla y/o MO, mayor cantidad de agua retenida; es por ello que suelos arenosos suelen saturarse más rápidamente que un arcilloso (Intagri, 2017). El suelo con mayor porcentaje de arcilla tuvo un mayor %HCC disminuyendo este mientras el porcentaje de arena aumentó (tablas 1 y 2).

El %MO en los diferentes sitios muestreados, va de medio a muy alto. El sitio en el que se encontró mayor %MO fue JB1 interpretando estos resultados de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 como suelos volcánicos con alto y muy alto contenido de materia orgánica. Los resultados del sitio T1 y P1 indican que el contenido de materia orgánica es medio en ambas áreas de la Universidad (tabla 1). Las muestras del sitio JB1 de 0-30 cm muestran valores muy diferentes entre ellas, en especial entre el primer y el último punto presentando casi diez veces más %MO. Las muestras de P1 muestran también diferencias entre ellas teniendo el último punto el doble de %MO que el primer punto (figura 8).

El suelo en el sitio T1 presentó mayor porcentaje de arcilla en ambas profundidades, dando como resultado, un suelo de textura fina correspondiente a una clase textural arcillosa, determinada por el porcentaje de arcilla que contiene (>40%). Estos suelos suelen presentar alta capacidad de retención de agua y nutrimentos. Normalmente son los de más alta fertilidad. Por otra parte, en los suelos de los sitios P1 y JB1 predomina la arena, quedando clasificados dentro de la clase textural franco arcillo arenosa, a excepción del suelo JB1 a profundidad de 0-30 cm, que posee textura gruesa, entra en la clase textural franco

arenosa. La baja cantidad de arcilla provoca que se pierda más fácilmente agua y nutrientes, especialmente nitrógeno (Intagri, 2017). Es importante mencionar, que estos sitios podrían contar con un aporte exógeno de arena; en el caso de P1 debido a arena utilizada como relleno en épocas de inundación y en JB1 debido a que esta área de la DACBiol ha sido afectada por las construcciones de edificios cercanos. Es importante mencionar que en los tres sitios hubo variaciones en las proporciones arcilla-arena-limo, por lo que la clase textural resultó diferente en cada sitio.

## CONCLUSIONES

El porcentaje de materia orgánica es mayor en el área de JB1 debido al aporte representativo de material vegetal procedente de los árboles, en tanto que, en las áreas T1 y P1 la escasa vegetación arbórea reduce el aporte de dicho parámetro.

A profundidad de 0-30 cm el %HH y el %HCC es mayor que a profundidad de 30-60 cm siendo mayor este parámetro en el sitio T1.

El sitio P1 presentó los valores más bajos de %MO en ambas profundidades. El sitio JB1 tuvo los valores más altos de MO. Los valores en cada sitio en las dos profundidades no variaron mucho.

El suelo en los tres sitios se puede clasificar como medianamente alcalino, los valores más altos de pH se obtuvieron en JB1.

De acuerdo con las características fisicoquímicas obtenidas en cada sitio y con lo observado en cuanto a vegetación y condiciones de cada lugar durante los muestreos en campo, se puede indicar que en JB1 el suelo es Gleysol mólico, el área T1 presenta un suelo Vertisol con algunas asociaciones de Gleysol y, el tipo de suelo en P1 es Gleysol éutrico.

Se recomienda realizar estudios de capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno total y fósforo que ayudarán a obtener una caracterización más completa del tipo de suelo y de las interrelaciones que existen con la flora y fauna del área.

## **AGRADECIMIENTOS**

A los estudiantes de Ingeniería Ambiental, Aguilar Hernández Selene, Cruz de los Santos Marisela, Custodio Burelo Rosa Aurora, Ek Pérez Jaime José, Flores Córdova Selene Virginia, Gómez Mendoza Mariela Alejandra, Reynaga Méndez Samanta Trinidad, Rodríguez Rodríguez Noé Jesús, Ruiz Camacho Jesús Emmanuel, Sánchez Vidal Itzel, Villegas Gallegos Astrid Airy, por su apoyo en la colecta y procesamiento de las muestras.

A la M. en C. Rosa Martha Padrón López, directora de la DACBiol-UJAT, por las facilidades otorgadas en el uso de las instalaciones, equipo y material de laboratorio.

**Tabla 1.**

Propiedades físicas del suelo de las tres áreas muestreadas. Nomenclatura de sitios: tinal (T1), pastizal (P1) y jardín botánico (JB1). Análisis: potencial de hidrógeno (pH), humedad higroscópica expresada en porcentaje (HH%), humedad a capacidad de campo expresada en porcentaje (HCC%) y cantidad materia orgánica expresada en porcentaje (MO%).

Sitio	Profundidad (cm)	Promedio	Sitio	Profundidad (cm)	Promedio
pH					
T1	0-30	8.30	T1	30-60	8.60
P1		8.10	P1		8.30
JB1		8.20	JB1		8.30
HH (%)					
T1	0-30	4.19	T1	30-60	3.04
P1		3.65	P1		3.26
JB1		4.10	JB1		4.09
HCC (%)					
T1	0-30	25.13	T1	30-60	20.18
P1		20.45	P1		19.41
JB1		19.21	JB1		15.12
MO (%)					
T1	0-30	7.89	T1	30-60	7.98
P1		6.37	P1		6.19
JB1		13.60	JB1		18.50

**Tabla 2.**

Textura de suelo. Nomenclatura de sitios: tinal (T1), pastizal (P1) y jardín botánico (JB1).

Sitio	Profundidad (cm)	Arcilla (%)	Arena (%)	Limo (%)	Textura
T1	0-30	44.28	48.61	7.11	Arcilloso
P1		21.96	62.68	15.36	Franco arcillo arenoso
JB1		17.68	52.07	30.25	Franco arenoso
T1	30-60	45.52	36.48	18	Arcilloso
P1		24.77	54.56	20.67	Franco arcillo arenoso
JB1		32.28	47.91	19.81	Franco arcillo arenoso



**Figura 1.** Sitios de muestreo: T1 área de tinal, P1 área de pastizal y JB1 área de jardín botánico. Imagen tomada de Google Earth, 2018.



**Figura 2.** Cuadro de muestreo de 30 x 30 cm.



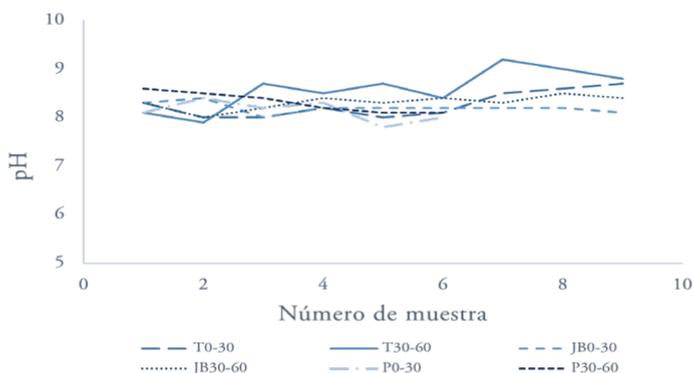
**Figura 3.** Colecta de hojarasca del sitio para ser colocada en bolsa de polietileno.



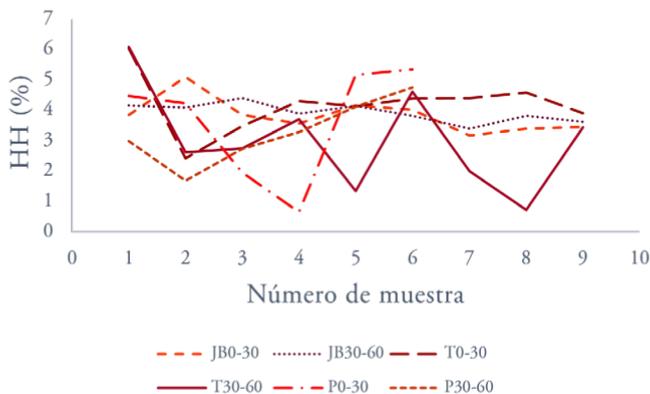
*Figura 4.* Extracción de muestra de suelo con barrena.



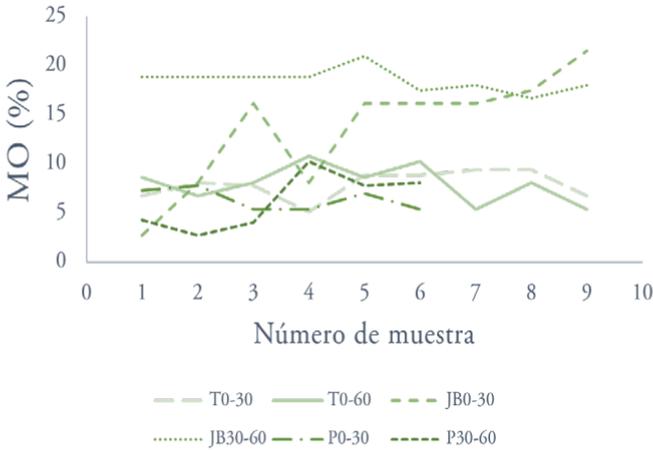
*Figura 5.* Muestras de suelo puestas a secar por 15 días en un área cerrada.



**Figura 6.** Valores de pH en muestras individuales de los tres sitios. Nomenclatura la letra corresponde a los sitios: tintal (T), pastizal (P) y jardín botánico (JB) y los números a las diferentes profundidades (0-30 cm y 30-60 cm).



**Figura 7.** Valores de Humedad Higroscópica expresada en porcentaje (HH%) en muestras individuales de cada sitio. Nomenclatura la letra corresponde a los sitios: tintal (T), pastizal (P) y jardín botánico (JB) y los números a las diferentes profundidades (0-30 cm y 30-60 cm).



**Figura 8.** Valores de contenido de materia orgánica expresados en porcentaje (MO%) en muestra individuales de cada sitio. Nomenclatura, la letra corresponde a los sitios: tinto (T), pastizal (P) y jardín botánico (JB) y los números a las diferentes profundidades (0-30 cm y 30-60 cm).

## REFERENCIAS

Ansorena, J. (1995). El Suelo en la Agricultura y el Medio Ambiente. Junio 5, 2018, de Laboratorio Agrario. Departamento de Agricultura y Medio Ambiente. Diputación Foral de Gipuzkoa Sitioweb: [https://www.gipuzkoa.eus/documents/2227195/2228987/38\\_34\\_38.pdf/03f47d78-e7a1-fac6-5dfc-f9a92aea8758](https://www.gipuzkoa.eus/documents/2227195/2228987/38_34_38.pdf/03f47d78-e7a1-fac6-5dfc-f9a92aea8758)

Astier, M.; Maass, J. y Etchevers Barra, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36, pp. 605-620. URL: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236511>

- Biodiversidad mexicana. (2018). Pastizales. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO). <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/pastizales.html>
- Campos H. (2012). *Capacidad del uso potencial del suelo en el ejido “pastores”, municipio de Pinos, Zacatecas* (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de agronomía, San Luis Potosí. <http://ninive.uaslp.mx/jspui/bitstream/i/3453/2/IAZ1CAP01201>
- CONAFOR. (2011). Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Manual y procedimientos para el muestreo de campo. México: SEMARNAT.
- Cotler, H.; Sotelo, E.; Domínguez, J.; Zorrilla, M.; Cortina, S. y Quiñones, L. (2007). La conservación de los suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, 83, pp.5-71. URL: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53908302>
- FAO. (2015). El suelo es un recurso no renovable. Junio 2, 2018, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Sitio web: <http://www.fao.org/3/a-i4373s.pdf>
- Garrido, M. (1994). *Interpretación de análisis de suelo*. Getafe, Madrid: Rivadeneyra, S.A. [https://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1993\\_05.pdf](https://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf)
- Hernández, M. E. (Abril – junio 2010). Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. Terra Latinoamericana, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. 28(2):139–147. ISSN: 0187-5779.
- INTAGRI. (2017). Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. *Artículos Técnicos de INTAGRI*, 29, p. 5. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>
- Palma, D.; Cisneros D.; Moreno C. y Rincón, J. (2007). Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. COLEGIO DE POSTGRADUADOS-ISPOTAB-FUNDACION

- PRODUCE TABASCO. Villahermosa, Tabasco, México. [https://www.researchgate.net/publication/293958380\\_Suelos\\_de\\_Tabasco\\_Su\\_Uso\\_y\\_Manejo\\_Sustentable](https://www.researchgate.net/publication/293958380_Suelos_de_Tabasco_Su_Uso_y_Manejo_Sustentable)
- Pennington, T. y Sarukhán, J. (2005). Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. Ediciones científicas universitarias. UNAM. México. D.F. 413 p.
- Pérez, L.; Sousa S.; Hanan, A.; Chiang, F. y Tenorio, P. (2005). Vegetación Terrestre. Capítulo 4: 65 -110. En: Bueno, J., Álvarez F. y Santiago S. (Eds.). Biodiversidad del estado de Tabasco. Instituto de Biología. UNAM-CONABIO. México D.F.
- Salcedo, E.; Galvis, A.; Hernández, T.; Rodríguez, R.; Zamora, F.; Bugarin, R. y Carrillo, R. (2007). La humedad aprovechable y su relación con la materia orgánica y superficie específica del suelo. *TERRA, Latinoamericana*, 25, pp. 419-425. <http://www.redalyc.org/html/573/57315558010/>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2002). Norma Oficial Mexicana. NOM-021-SEMARNAT-2000. Diario Oficial de la Federación. México: SEMARNAT.
- Sosa, E.; Cabrera, E. y Pérez, D. (2006). El uso de vegetación secundaria (acahuales) para la alimentación de bovinos y ovinos en Quintana Roo. *Fundación Quintana Roo Produce, A.C.* 3 y 4.
- Sotelo, E.; Gutiérrez, M.; Cruz, G.; Ortiz, C. y Segura, M. (2008). Historia y desarrollo de la clasificación de Vertisoles en el sistema FAO y la taxonomía. *TERRA Latinoamericana*, 26, pp. 325-332. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57313051005>
- Suárez, G.; Campos, A. y Cruz, L. (2015). Dinámica del carbono y nitrógeno del suelo en ecosistemas de la costa tropical seca en la Mancha (Cicolma), Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems, volumen* (18), 347-361.
- Zavala, J.; Jiménez, R.; Palma, D.; Bautista, Z. y Gavi R. (2016). Paisajes Geomorfológicos: Base Para el Levantamiento de Suelos en Tabasco, México. *Rev. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(8): 161-171.

Capítulo 7

**MACROINVERTEBRADOS  
ACUÁTICOS, PECES Y AVES  
DISTRIBUIDOS EN SITIOS CON  
DIFERENTES ASOCIACIONES  
VEGETALES**

Juan Manuel Koller González  
Guadalupe Lara de la Cruz  
María Guadalupe Arias Jiménez  
Mórvila Cruz Ascencio<sup>1</sup>

**RESUMEN**

Los diferentes sitios ambientales que se encuentran en las inmediaciones de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL), tales como el Jardín Botánico, Pastizal inundable, Tintal y Humedal permanente son considerados sitios importantes de conservación, ya que en ellos se encuentran distribuidos una gran diversidad de flora y fauna característica de los ecosistemas acuáticos y terrestres. Este trabajo contribuye a la actualización de diferentes grupos biológicos, así como señalar la importancia que estos pueden tener en la calidad ambiental del hábitat en donde se localizan. De la ictiofauna se obtuvieron registros de la clase Actinopterygii, resaltando la

---

<sup>1</sup>Coordinadora del Programa de Acción de la DACBIOL: fauna; División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Correo electrónico: morvicras@hotmail.com

captura de la familia Poeciliidae, principalmente de las especies *Xiphophorus maculatus* y *Gambusia yucatanana*, esta última considerada amenazada y endémica. De los macroinvertebrados acuáticos se identificaron las clases Malacostraca, Ostracoda, Gastropoda, Insecta, Clitellata y Arachnida, siendo la Insecta representada con el mayor número de familias. Setenta y seis especies de aves fueron avistadas, de las cuales seis especies se encuentran enlistadas en la NOM-059 bajo alguna categoría de riesgo. Tanto la avifauna, como los peces y macroinvertebrados acuáticos se consideran elementos importantes en la dinámica de los ecosistemas, ya que juegan un papel importante en los procesos de reciclado de nutrientes, redes tróficas actuando como reguladoras de otros organismos y procesos de regeneración.

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas naturales en todas partes del mundo se han visto transformados por el crecimiento y las actividades de la población urbana, esto ha implicado el cambio de uso de suelo, reducción de los niveles de agua en las zonas de recarga y acuíferos, pérdida de hábitat y disminución de la biodiversidad (Angeoletto, Essy, Sanz, da Silva, Albertin y Santos, 2015; Ehrlich y Kennedy 2005, Hettiarachchi et al., 2014). La IUCN (2012), considera que la implementación de áreas protegidas y conservación es cada vez mayor.

El agua es un elemento primordial en el desarrollo de todos los seres vivos, para las plantas acuáticas y palustres que dependen casi absolutamente de su presencia. La asociación de estos elementos bióticos y abióticos han sido determinantes para establecer ambientes denominados humedales. Gopal (2003),

reconoce que las principales características de estos ambientes es la existencia de agua, por lo menos durante una época del año, y la presencia de aves acuáticas.

Los humedales muestran una enorme diversidad de acuerdo a su origen, localización geográfica, su régimen acuático y químico, características del suelo o sedimento y vegetación dominante (Hauenstein, Muñoz-Pedrerros, Peña, Encina y González, 1999). Ramsar (2013) los define como zonas en donde el agua es el principal factor que controla el ambiente, la vegetación y fauna asociada, existiendo donde la capa freática se encuentra en o cerca de la superficie del terreno o donde el terreno está cubierto por agua. Son considerados sitios importantes de conservación, ya que albergan una gran diversidad biológica y cumplen funciones decisivas para el cumplimiento de los ciclos de vida de plantas y animales, constituyendo áreas de refugio, protección, reproducción y alimentación de varias especies faunísticas.

Para la conservación de estas zonas se hace indispensable el conocimiento y desarrollo de sistemas y métodos que permitan conocer su grado de alteración debido a causas naturales y/o antropogénicas. Varias especies faunísticas pueden proporcionar información de cambios físicos y químicos en los ecosistemas que habitan, que a través del tiempo revelan modificaciones en la composición de la comunidad (Bartram y Balance, 1996; Pérez Mungía, Pineda López y Medina Nava, 2007). Tal es el caso de los macroinvertebrados acuáticos, que indican características específicas, no solo de las condiciones actuales, sino también de las que se han presentado con anterioridad en el medio donde se encuentran (Muñoz, Mendoza y Valdovinos, 2001; Guerra Rojas, Aguirre Ramírez y Caicedo Quintero, 2011). Con la

valoración de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos se pueden deducir condiciones ambientales en los humedales, tales como, los niveles de oxígeno y el grado de contaminación orgánica, así como el estado de eutrofización del sistema (Lozano-Ortiz, 2005; Roldán-Pérez, 2016).

Las aves, son elementos importantes en la dinámica de los humedales, consideradas especies muy conspicuas, fáciles de observar por habitar medios abiertos, presentar tamaños considerables y exhibir en muchas ocasiones coloridos plumajes (Paracuellos, Fernández-Cardenete y Robledano, 2007), estos organismos juegan un papel importante en los procesos de regeneración como polinizadores, dispersores y depredadores de semillas (Ortiz-Pulido, Laborde y Guevara, 2000). Por su visibilidad, las aves son de los grupos más utilizados como indicadores de problemas ambientales, para esto, deben considerarse ampliamente los aspectos ecológicos, como es el caso de las abundancias relativas y los rangos de distribución en hábitats específicos, sin embargo, se debe tener particular cuidado en que realmente permitan evaluar las condiciones de un aspecto del ambiente o de los factores que lo afectan (Altamirano González-Ortega et al., 2003).

Con base en lo anterior, es reconocida la utilidad de la fauna en programas de diagnóstico y monitoreo en la calidad ambiental de los ecosistemas. Teniendo en cuenta esta particularidad, el objetivo principal de este estudio es presentar una actualización de los macroinvertebrados acuáticos, peces y aves distribuidos en sitios con diferentes asociaciones vegetales en las inmediaciones de la DACBiol-UJAT, con el fin de generar información base, que pueda ser utilizada para analizar la calidad de los hábitats en el complejo de diferentes ambientes de esta institución.

## MÉTODO

### *Área de estudio*

Los puntos de muestreo se ubicaron en diferentes sitios de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol), perteneciente a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) en la Ciudad de Villahermosa, como parte del proyecto “Programa ambiental de la DACBiol-UJAT”. Estos sitios fueron etiquetados en relación al tipo de asociación vegetal: Jardín Botánico (JB), Pastizal inundable (P), Tintal (T) y Humedal permanente (H), identificados y caracterizados para el área de estudio (figura 5; tabla 1).

### *Fauna acuática*

Los muestreos se realizaron en los ambientes de P y H determinados por la presencia de un nivel mínimo de agua, que permitiera la aplicación de los diferentes métodos de colecta (Figura 6). Los macroinvertebrados fueron recolectados manualmente (Springer, Ramírez y Hanson, 2010) y se llevó a cabo tomando los organismos de las raíces de la vegetación acuática flotante (vegetación hidrófila) que se encontraba en los sitios (figura 6), compuesta por lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y lechuga de agua (*Pistia stratiotes*). Para la captura de la ictiofauna se utilizó arte de pesca moderadamente no selectiva (redes de cuchara) (Arias Arias, 1988), la cual se aplicó en las orillas de los cuerpos de agua.

Los macroinvertebrados se etiquetaron, fijaron y conservaron en frascos con alcohol al 70%, y se identificaron a nivel de familia. La identificación de los macroinvertebrados

se basó en los caracteres morfológicos de las claves y guías de Carrera Reyes y Fierro Peralbo (2001) y Springer, Ramírez y Hanson (2010). El material ictiofaunístico se fijó, etiquetó y colocó en frascos con formaldehído al 10% por cinco días, posteriormente el fijador fue sustituido por alcohol al 70% para la conservación de los especímenes, cabe señalar que estos fueron identificados al nivel taxonómico más específico, utilizando la clave de Miller, Minckley y Norris (2009).

### *Aves*

Durante el período de marzo a junio de 2017 se realizaron ocho muestreos con una frecuencia de 15 días, estos fueron realizados entre las 07:00-09:00 horas que es el horario de mayor actividad de las aves. Se establecieron cuatro puntos de conteo distribuidos de manera espacial a una distancia de 200 metros entre ellos, ubicándolos en los diferentes tipos de ambientes de la DACBIol que comprenden el JB, P, T y H. Los conteos se llevaron a cabo con la técnica de punto de radio fijo propuesto por Ralph, et al. (1996), que consiste en observar todas las aves durante un período de diez minutos en un radio de 25 metros alrededor del observador. Las observaciones fueron hechas utilizando binoculares de 8x40, y para la identificación de las especies se utilizaron las guías de campo de aves de Fagan y Komar (2016) y Howell y Webb (1995). Para la categoría de estacionalidad o residencia se utilizaron los trabajos de Chablé-Santos, Escalante-Pliego y López-Santiago (2005) y Berlanga et al. (2017), en relación a la categoría de riesgo corresponde a la definida en la NOM-059 (SEMARNAT, 2010).

## RESULTADOS

### *Fauna acuática*

En cumplimiento al objetivo de este trabajo, se incluye la lista de organismos encontrados en los sitios muestreados y la abundancia relativa. Algunos datos correspondientes a los parámetros fisicoquímicos se muestran en la tabla 2. Los puntos de muestreo difieren en profundidad y transparencia, mientras que los parámetros ambientales de temperatura y pH fueron similares. Cabe señalar que el muestreo se llevó a cabo en la temporada de estiaje. Estas similitudes y diferencias nos pueden brindar las particularidades fisicoquímicas de cada sitio al relacionarlas con la época del año.

Durante el período de muestreo se colectaron un total 1,521 especímenes, distribuidos en las clases Clitellata (sanguijuelas), Insecta (insectos acuáticos), Ostracoda (crustáceos), Malacostraca (crustáceos), Gastropoda (caracoles), Arachnida (ácaros acuáticos) y Actinopterygii (peces) (tabla 3). Del grupo de las sanguijuelas se capturó la familia Arhynchobdellida (figura 7). En el caso de los crustáceos se identificaron los ostrácodos (figura 8) determinados solo a nivel de clase y las familias, Hyalellidae (figura 9) y Cambaridae (figura 10), de las cuales aún no se determina el género y la especie. Los insectos acuáticos se agruparon en quince familias (figuras 11-28). Los caracoles se clasificaron en tres familias, Ampullaridae, Physidae y Planorbidae (figuras 29-32). Asimismo, se capturó una familia de ácaro acuático, Hydrachnidae.

De la ictiofauna se registró a las familias Rivulidae con un género y una especie (figura 33), Poeciliidae que incluyó tres

géneros y cuatro especies (figuras 34-38), y Synbranchidae con un género y una especie (figura 38).

Las especies de peces, *Xiphophorus maculatus* y *Gambusia yucatanana* obtuvieron los valores más altos en términos de abundancia relativa, 50.5% y 26.2%, respectivamente. *Cynodonichthys tenuis*, *Gambusia sexradiata*, *Heterandria bimaculata* y *Ophisternon aenigmaticum*, representaron el 23.3% de la abundancia relativa total (figura 2). Es importante señalar que *G. yucatanana* es considerada por SEMARNAP 2000, una especie amenazada y endémica de la Cuenca Grijalva-Usumacinta.

A nivel de clase, Malacostraca resultó con el valor más alto de abundancia relativa (51.7%), seguido por la Insecta con 29.4% (figura 1), el porcentaje restante (18.9%) se distribuyó en las clases Actinoterygii, Ostracoda, Gastropoda, Clitellata y Arachnida (figura 1). La familia de gasterópodos que registró la mayor abundancia relativa fue Planorbidae con 69.8%, cabe destacar que se consideran dos morfoespecies en este grupo, aunque no han sido determinadas. El 30.2% se distribuyó en las familias Ampullaridae y Physidae (figura 3). Por otra parte, las familias de insectos acuáticos que sobresalieron con la mayor abundancia (76.3%) fueron Calopterygidae, Libellulidae, Dytiscidae, Chironomidae y Tabanidae (figura 4).

La presencia de organismos que mostraron abundancias reducidas, puede deberse a que solo desarrollan una parte de su ciclo de vida en el ecosistema acuático como es el caso de la familia Culicidae (figura 4).

En general, de acuerdo a De la Lanza Espino, Hernández Pulido y Carbajal Pérez (2000), la mayoría de estos organismos pueden ser considerados indicadores biológicos de la calidad de su ambiente o entorno.

### ***Aves***

Un total de 76 especies de aves distribuidas en 16 ordenes, 31 familias y 63 géneros se identificaron en el área de estudio, de las cuales seis especies se encuentran enlistadas en la NOM-059 (SEMARNAT, 2010) bajo alguna categoría de riesgo (Tabla 4). De estas, cuatro sujetas a protección especial, zopilote sabanero (*Cathartes burrovianus*), represento el 0.87% de abundancia relativa, perico pecho oscuro (*Eupsittula nana*) con el 9.8% de abundancia relativa, loro frente blanca (*Amazona albifrons*) con el 5.5% de abundancia relativa total y siete colores (*Passerina ciris*) con el 0.14% de abundancia relativa, y dos en estatus de amenazadas, gavián zancón (*Geranospiza caerulescens*) y correa (*Aramus guaranauna*) con 0.14% de abundancia relativa cada una (Tabla 4). De acuerdo a la lista de especies prioritarias para la conservación, publicada en el Diario Oficial de la Federación del 5 de marzo del 2014 se avistaron tres especies de aves en el área de Tintal: pato pijijie (*Dendrocygna autumnalis*), perico pecho oscuro (*Eupsittula nana*) y loro frente blanca (*Amazona albifrons*).

Del total de aves registradas, el 65.8% resultó residente, el 30.3% migratoria y 3.9% transitoria (Tabla 4), donde la mayor parte de las especies no migratorias no solo se refugian o alimentan en la zona, sino que también se reproducen, tal es el caso de la garza chapulinera (*Bubulcus ibis*) que represento el 58.3% de la abundancia relativa total, además es una especie que

forma grandes colonias de anidación y de la cual se contabilizaron 200 nidos activos.

Con base en los requerimientos de hábitat se observó dentro del área del Tintal a cinco especies consideradas indicadoras de buena calidad del hábitat, el pájaro péndulo (*Momotus momota*), búho tropical (*Ciccaba virgata*), cuclillo marrón (*Piaya cayana*), gavilán zancón (*Gerasnopiza caeroluscens*) y la paloma arroyera (*Leptotila verreauxi*), esto principalmente porque prefieren hábitats con vegetación cerrada y con cierto grado de conservación (Howell y Webb, 1995, Peterson y Chalif, 1989), considerando el área del Tintal, el cual presenta un grado de regeneración avanzado (Vázquez et al. 2019), un lugar idóneo e importante para el mantenimiento de estas poblaciones.

## CONCLUSIONES

La representatividad de las especies de peces de la familia Poeciliidae se debe principalmente a que estos organismos se encuentran asociados a las márgenes de los ecosistemas acuáticos. *Xiphophorus maculatus* fue la especie más abundante. Mientras que, *Gambusia yucatana* es considerada una especie amenazada y endémica. Cabe resaltar que los pecílidos son considerados de importancia ecológica ya que son considerados buenos indicadores de la condición ambiental de los sistemas acuáticos.

Las quince familias de insectos acuáticos que se encontraron asociadas a la vegetación hidrófila, reafirma lo mencionado por otros autores sobre la importancia que tienen estos hábitats como sitios de reproducción y alimentación. La diferencia de abundancias entre familias puede deberse a

su capacidad de tolerancia y al aprovechamiento de todos los hábitats disponibles, lo cual permite a algunos organismos colonizar con mayor facilidad.

Es importante mencionar que, por el estado de regeneración y conservación que tienen las áreas verdes de la DACBiol-UJAT, particularmente la zona denominada “Tintal”, la mayoría de las especies de aves residentes observadas no solo se refugian o alimentan en la zona, sino que también se reproducen.

Dentro de los gremios alimentarios de las aves observadas, se tienen registrados casi todos, granívoros, insectívoros, frugívoros, nectarívoros, carnívoros, carroñeros, omnívoros, piscívoros y detritívoros, lo que implica que estos organismos están desempeñando toda una gama diversa de funciones dentro del ecosistema como la dispersión de semillas, el control de plagas, la limpieza ambiental, la polinización y la regulación de las poblaciones de otros organismos, los cuales son importantes indicadores de la regeneración en estructura y composición de la vegetación en la zona de estudio, principalmente porque al ubicarse en una zona urbana, es considerada dentro de un contexto de perturbación.

Este trabajo representa una actualización y aporte sobre el conocimiento de la composición de la fauna de macroinvertebrados acuáticos, peces y aves en la DACBiol-UJAT, y dada la relevancia de estos organismos como bioindicadores en la calidad ambiental de los ecosistemas, es importante analizar las variaciones en la composición de dichas comunidades en diferentes períodos estacionales.

## AGRADECIMIENTOS

A la M. en C. Rosa Martha Padrón López directora de la DACBiol-UJAT por las facilidades otorgadas en el uso de las instalaciones, equipo y material de laboratorio. A Carlos Alberto Leyva Trinidad, Goretti Magaña Vichel, Heberto Marín Ordoñez y María Patricia Vidal Asencio, por su apoyo en los muestreos y separación de la fauna acuática. Asimismo, a Michelle Abril Morales Ibarra, Michelle Beatriz Sánchez Rueda, Jaime Priego, Enrique Heredia, José Eduardo Mendoza Rojas y Sheila Cristell Ramos, en el avistamiento de aves.

**Tabla 1.**

Etiquetas por tipo de ambiente.

Tipo de vegetación	Etiqueta	Coordenadas
Tintal	T	X= 502688, Y= 1989204
Jardín Botánico	JB	X= 502497, Y= 1989264
Pastizal	P	X= 502400, Y= 1989465
Humedal permanente	H	X= 502793, Y= 1988975

**Tabla 2.**

Parámetros físico-químicos de los sitios muestreados.

Parámetro	Sitios de muestreo	
	P	H
Profundidad (cm)	100	125
Transparencia (cm)	60	31
Temperatura (°C)	26.3	27.5
pH	7.6	7.7

**Tabla 3.**  
Macroinvertebrados acuáticos y peces registrados en el humedal urbano de la DACBIol

Clase (grupo taxonómico)	Orden	Familia	Género	Especie
Clitellata (sanguijuelas)	Arhynchobdellida	Erpobdellidae	N/d	
Ostracoda (ostrácodos)	N/d			
Malacostraca (crustáceos)	Amphipoda	Hyaletellidae	N/d	
	Decapoda	Cambaridae		
Insecta (insectos acuáticos)	Odonata	Calopterygidae	N/d	
		Cordulegastridae		
		Libellulidae sp1		
		Libellulidae sp2		
	Hemiptera	Belostomatidae		
		Naucoridae sp1		
		Naucoridae sp2		
		Naucoridae sp3		
		Nepidae		
		Pleidae		
	Lepidoptera	Pyralidae		
	Coleoptera	Dytiscidae		
		Elmidae		
		Gyrinidae		
		Hydrophilidae		
	Diptera	Chironomidae		
Culicidae				
Tabanidae				
Gastropoda (caracoles)	Architaenioglossa	Ampullaridae	N/d	
	Basommatophora	Physidae		
		Planorbidae sp1		
		Planorbidae sp2		

Clase (grupo taxonómico)	Orden	Familia	Género	Especie
Citellata (sanguijuelas)	Arhynchobdellida	Erpobdellidae	N/d	
Ostracoda (ostrácodos)	N/d			
Malacostraca (crustáceos)	Amphipoda	Hyaletidae	N/d	
	Decapoda	Cambaridae		
Insecta (insectos acuáticos)	Odonata	Calopterygidae	N/d	
		Cordulegastridae		
		Libellulidae sp1		
		Libellulidae sp2		
	Hemiptera	Belostomatidae		
		Naucoridae sp1		
		Naucoridae sp2		
		Naucoridae sp3		
		Nepidae		
	Pleidae			
	Lepidoptera	Pyralidae		
	Coleoptera	Dytiscidae		
		Elmidae		
		Gyrinidae		
		Hydrophilidae		
	Diptera	Chironomidae		
Culicidae				
Tabanidae				
Gastropoda (caracoles)	Architaenioglossa	Ampullaridae	N/d	
Arachnida (ácaros acuáticos)	Trombidiformes	Hydrachnidae	N/d	
Actinopterygii (peces)	Cyprinodontiformes	Rivulidae	<i>Cynodonichthys</i>	<i>tenuis</i>
		Poeciliidae	<i>Gambusia</i>	<i>sexradiata</i>
				<i>yucatanana</i>
		Synbranchiformes	Synbranchidae	<i>Eteherandria</i>
	<i>Xiphoborus</i>			<i>maculatus</i>
			<i>Ophisernon</i>	<i>aenigmaticum</i>

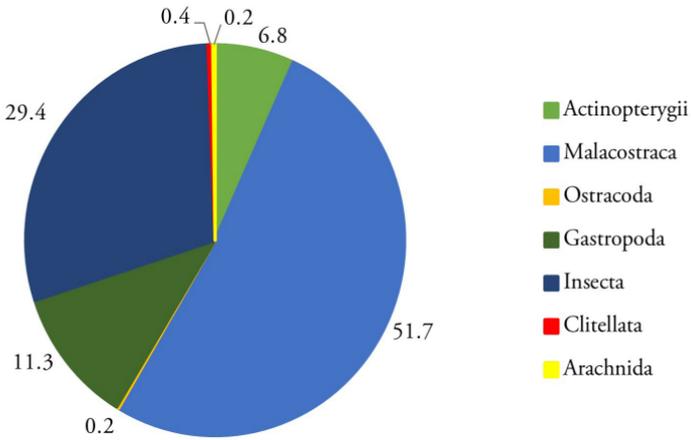
N/d= No determinado

**Tabla 4.**

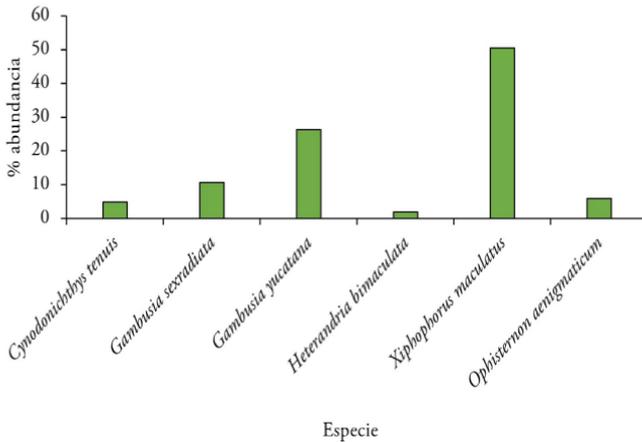
Listado de aves registradas en la DACBiol. La estacionalidad (Est.): residente (R), migratoria (M) y transitoria (T) con base en Chablé-Santos et al. (2005). Las categorías de riesgo, basadas en la NOM-059 (SEMARNAT 2010), son en peligro de extinción (P), amenazada (A) o sujeta a protección especial (Pr).

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Est.</b>	<b>NOM-059</b>
Anseriformes	Anatidae	<i>Dendrocygna autumnalis</i>	R	
Galliformes	Cracidae	<i>Ortalis vetula</i>	R	
Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Bubulcus ibis</i>	R	
		<i>Egretta tricolor</i>	R	
		<i>Egretta caerulea</i>	R	
	Threskiornithidae	<i>Butorides virescens</i>	R	
Accipitriformes	Cathartidae	<i>Cathartes burrovianus</i>	R	Pr
		<i>Coragyps atratus</i>	R	
	Accipitridae	<i>Rupornis magnirostris</i>	R	
		<i>Geranospiza caerulescens</i>	R	A
Falconiformes	Falconidae	<i>Falco sparverius</i>	M	
		<i>Caracara cheriway</i>	R	
Gruiformes	Rallidae	<i>Laterallus ruber</i>	R	
	Aramidae	<i>Aramides cajanea</i>	R	
Charadriiformes	Jacaniidae	<i>Jacana spinosa</i>	R	A

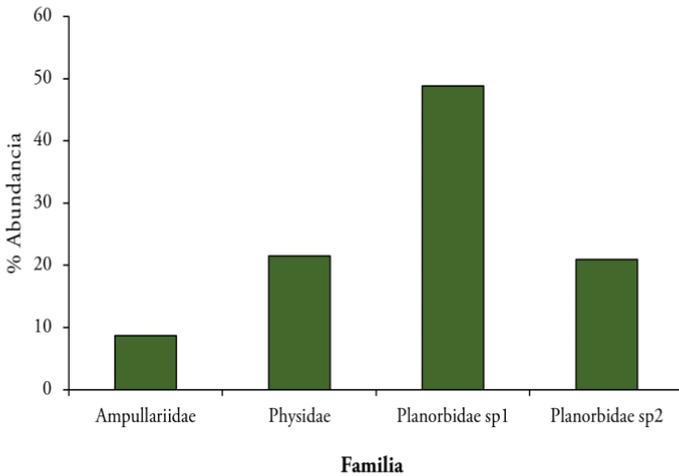
Orden	Familia	Especie	Est.	NOM-059
Columbiformes	Columbidae	<i>Patagioenas cayennensis</i>	R	
		<i>Columbina inca</i>	R	
		<i>Columbina talpacoti</i>	R	
		<i>Leptotila verreauxi</i>	R	
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Eupsittula nana</i>	R	Pr
		<i>Amazona albifrons</i>	R	Pr
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Piaya cayana</i>	R	
		<i>Crotophaga sulcirostris</i>	R	
Strigiformes	Strigidae	<i>Glaucidium brasilianum</i>	R	
		<i>Ciccaba virgata</i>	R	
Caprimulgiformes	Caprimulgidae	<i>Nyctidromus albicollis</i>	R	
	Nyctibiidae	<i>Nyctibius jamaicensis</i>	R	
Apodiformes	Trochilidae	<i>Amazilia yucatanensis</i>	R	
		<i>Amazilia tzacatl</i>	R	
		<i>Archilochus colubris</i>	T	
Coraciiformes	Momotidae	<i>Momotus momota</i>	R	
Piciformes	Picidae	<i>Melanerpes aurifrons</i>	R	
		<i>Dryocopus lineatus</i>	R	



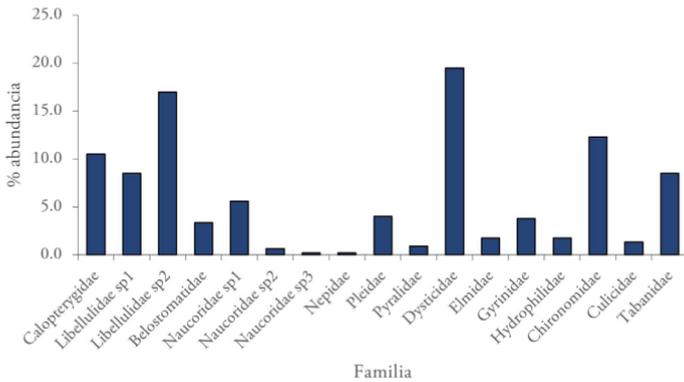
**Figura 1.** Abundancia relativa de las clases de peces y macroinvertebrados acuáticos en la DACBioI-UJAT.



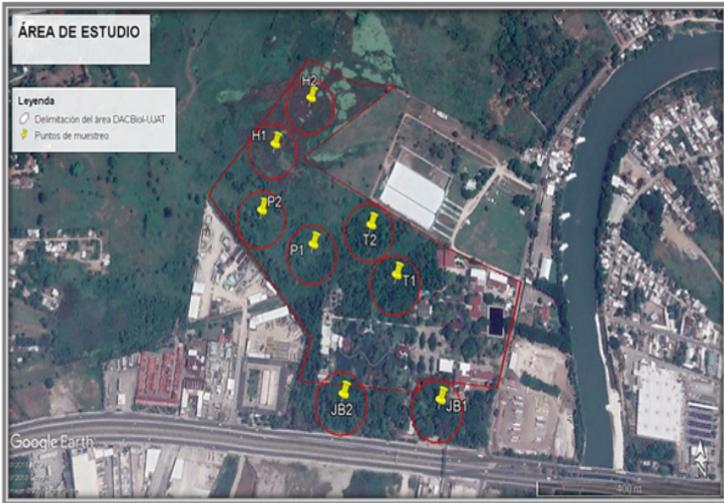
**Figura 2.** Abundancia relativa de las especies registradas de la clase *Actinopterygii*.



**Figura 3.** Abundancia relativa de las familias registradas de la clase *Gastropoda*.



**Figura 4.** Abundancia relativa de las familias registradas de la clase *Insecta*.



**Figura 5.** Ubicación de puntos de muestreo.



**Figura 6.** Colecta de macroinvertebrados acuáticos en las raíces de la vegetación hidrófila.

***Anexo fotográfico de los organismos recolectados en los diferentes puntos de muestreo***

**Familia de la clase *Clitellata***



***Figura 7. Erpobdellidae.***

Foto: M Cruz-Ascencio.

**Familia de la clase *Ostracoda***



***Figura 8. Ostracoda.***

Foto: M Cruz-Ascencio.

Familia de la clase *Malacostraca*



*Figura 9. Hyalellidae.*

Foto: M Cruz-Ascencio.

Familia de la clase *Malacostraca*



*Figura 10. Cambaridae.*

Foto: M Cruz-Ascencio

Familias de la clase *Insecta*



**Figura 11.** *Calopterygidae*.  
Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 12.** *Cordulegastridae*.  
Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 13.** *Libellulidae* sp1.  
Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 14.** *Libellulidae* sp2.  
Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 15.** *Belostomatidae*.  
Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 16.** *Naucoridae* sp1.  
Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 17.** *Naucoridae* sp2.

Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 18.** *Naucoridae* sp3.

Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 19.** *Nepidae*.

Foto: M Cruz-Ascencio



**Figura 20.** *Pleidae*.  
Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 21.** *Pyralidae*.  
Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 22.** *Dytiscidae*.  
Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 23.** *Elmidae*.  
Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 24.** *Gyrinidae*.  
Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 25.** *Hydrophilidae*.  
Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 26.** *Chironomidae*.  
Foto. M Cruz-Ascencio.



**Figura 27.** *Culicidae pupa*.  
Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 28.** *Tabanidae*.  
Foto: M Cruz-Ascencio.

Familias de la clase *Gastropoda*



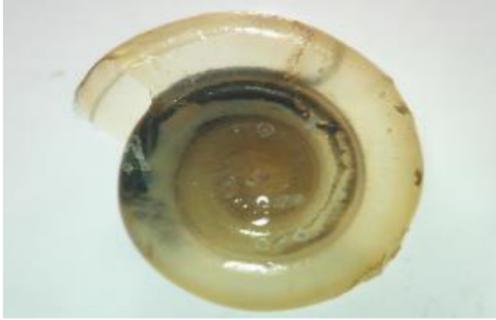
**Figura 29.** *Ampullaridae*.  
Foto: M. Cruz-Ascencio.



**Figura 30.** *Physidae*.  
Foto: M Cruz Ascencio.



**Figura 27.** *Planorbidae* sp1.  
Foto: M. Cruz-Ascencio



**Figura 32.** *Planorbidae* sp2.  
Foto: M. Cruz-Ascencio.

**Familias de la clase *Actinopterygii***



**Figura 33.** *Cynodonichthys tenuis*.  
Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 34.** *Gambusia sexradiata*.

Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 35.** *Gambusia yucatanana*.

Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 36.** *Heterandria bimaculata*.

Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 37.** *Xiphophorus maculatus*.  
Foto: M Cruz-Ascencio.



**Figura 38.** *Ophisternon aenigmaticum*.  
Foto: M Cruz-Ascencio.

### Familias de la clase AVES



**Figura 39.** *Columbina talpacoti*.  
Foto: JM Koller



**Figura 40.** *Myiozetetes similis*. Foto: JM Koller



**Figura 41.** *Tyrannus melancholicus*.  
Foto: JM Koller.



**Figura 42.** *Icterus gularis*.  
Foto: JM Koller.



**Figura 43.** *Setophaga citrina*.

Foto: JM Koller.



**Figura 44.** *Piranga rubra*.

Foto: JM Koller.

## REFERENCIAS

Altamirano González-Ortega, M.; Guzmán Hernández, J.; Martín Gómez, M. y Domínguez Velázquez, L. (2003). Un método para la selección de aves bioindicadoras con base en sus posibilidades de monitoreo. Huitzil. Revista Mexicana de

- Ornitología. 4(2): 10-16. <http://huitzil.net/blog/wp-content/uploads/2013/06/HUITZIL-2003-4210-16.pdf>
- Angeoletto, F.; Essy, C.; Sanz, J.P.R.; da Silva, F.F.; Albertin, R.M. y Santos, J.W.M. (2015). Ecología Urbana: La Ciencia Interdisciplinaria del Planeta Ciudad. Desenvolvimento em Questão, 13(32), 6-20. <https://doi.org/10.21527/2237-6453.2015.32.6-20>
- Arias Arias, P. (Comp.). (1988). Artes y métodos de pesca en aguas continentales de América Latina (p. 178). COPESCAL Documento Ocasional No.4. <http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/aquaculture/a0844t/docrep/008/S7088S/S7088S03.htm#chII>
- Bartram, J. y Balance, R. (Edit.). (1996). Water Quality Monitoring. A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes (p. 383). UNEP/WHO. Gran Bretaña. [https://www.researchgate.net/publication/253953121\\_Water\\_quality\\_monitoring\\_a\\_practical\\_guide\\_to\\_the\\_design\\_and\\_implementation\\_of\\_freshwater\\_quality\\_studies\\_and\\_monitoring\\_programmes](https://www.researchgate.net/publication/253953121_Water_quality_monitoring_a_practical_guide_to_the_design_and_implementation_of_freshwater_quality_studies_and_monitoring_programmes)
- Berlanga, H.; Gómez de Silva, H.; Vargas-Canales, V. M.; Rodríguez-Contreras, V.; Sánchez-González, L. A.; Ortega-Álvarez, R. y Calderón-Parra, R. (2017). Aves de México: Lista actualizada de especies y nombres comunes. (p. 17). CONABIO, México D.F. [https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/scripts\\_aves/docs/lista\\_actualizada\\_aos\\_2017.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/scripts_aves/docs/lista_actualizada_aos_2017.pdf)
- Carrera Reyes, C. y Fierro Peralbo, K. (2001). Manual de monitoreo: Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua (p. 70). Ecociencia, Quito. <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56374.pdf>
- Chablé-Santos, J.B.; Escalante-Pliego, P. y López- Santiago, G. (2005). Aves. En: Bueno, J.; Álvarez, F y Santiago, S. (Edit.), Biodiversidad del estado de Tabasco (pp.261-262). Instituto de Biología, UNAM - CONABIO. México, DF.

- De la Lanza Espino, G.; Hernández Pulido, S. y Carbajal Pérez, J.L. (Comp.). (2000). Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores) (p. 633). México: Plaza y Valdés S.A.
- Ehrlich, P.R. y Kennedy D. (2005). Millennium Assessment of Human Behavior. *Science* 309: 562–563. <https://mahb.stanford.edu/wp-content/uploads/2011/08/4-2005-Ehrlich-Kennedy-MAHB-Science.pdf>
- Fagan, J. y Komar O. (2016). Peterson field guide to birds of northern Central America (p.439). New York: Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company.
- Guerra Rojas, A.; Aguirre Ramírez, N.J. y Caicedo Quintero, O. (2011). Mapificación y análisis de la distribución espacial de organismos indicadores de la calidad del agua en la quebrada la Ayurá (Envigado, Antioquia). *Revista Gestión y Ambiente*, 14(1): 55-64. [http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/7644/1/AguirreNestor\\_2011\\_MapificacionAnalisisDistribuci%C3%B3n.pdf](http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/7644/1/AguirreNestor_2011_MapificacionAnalisisDistribuci%C3%B3n.pdf)
- Gopal, B. (2003). Perspectives on wetland science, application and policy. *Hydrobiologia*, (490): 1–10. <http://www.ibiologia.unam.mx/pdf/directorio/z/Manejolagos/perspectiveswetlands.pdf>
- Hettiarachchi, M.; Morrison, T.H.; Wickramasinghe, D.; Mapa, R.; De Alwis, A. y McAlpine, C.A. (2014). The eco-social transformation of urban wetlands: A case study of Colombo, Sri Lanka. *Landscape and Urban Planning*, 132, 55–68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.08.006>
- Hauenstein, E.; Muñoz-Pedrerros, A.; Peña, F.; Encina, F. y González, M. (1999). Humedales: ecosistemas de alta biodiversidad con problemas de conservación. *El Árbol...Nuestro Amigo*, (13): 8-12.

- Howell, S.N.G. y Webb, S. (1995). A guide to birds of Mexico and Northern Central America (p. 857). Oxford University Press.
- IUNC (International Union for the Conservation of Nature and United Nations Environment Programme) (2012). World Conservation Monitoring Centre, The World Database on Protected Areas (WDPA) July Release (Cambridge, UK.). [www.protectedplanet.net](http://www.protectedplanet.net).
- Lozano Ortiz, L. (2005). La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del río Juan Amarillo, cerros orientales de Bogotá. *Umbral Científico*, (7): 5-11. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30400702>
- Miller, R.R.; Minckley, W.L. y Norris, S.M. (2009). Peces dulceacuícolas de México (1ª edición en español; Juan J. Schmitter-Soto, Trad., p.559). México: CONABIO/ SIMAC /ECOSUR/Consejo de Peces del Desierto. (Trabajo original publicado en 2005).
- Muñoz, E.; Mendoza, G. y Valdovinos, C. (2001). Evaluación rápida de la Biodiversidad en cinco sistemas lénticos de Chile Central: Macroinvertebrados Bentónicos. *Gayana (Concepción)*, 65(2): 173-180. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382001000200009>
- Ortiz-Pulido, R.; Laborde, J. y Guevara, S. (2000). Frugivoría por aves en un paisaje Fragmentado: Consecuencias en la Dispersión de Semillas. *Biotropica*, 32(3): 473-488. [https://doi.org/10.1646/0006-3606\(2000\)032\[0473:FAPAEU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1646/0006-3606(2000)032[0473:FAPAEU]2.0.CO;2)
- Paracuellos, M.; Fernández-Cardenete, J.R. y Robledano, F. (2007). Los humedales y sus aves: aspectos relacionados con la ecología, estatus y conservación en el Sudeste Ibérico. En: Barea-Azcón, J.M.; Moleón, M.; Travesí, R.; Ballesteros-Duperón, E.; Luzón-Ortega, J.M. y Tierno de Figueroa, J.M. (Edit.), Biodiversidad y conservación de fauna y flora en ambientes mediterráneos. (pp. 483-541). Sociedad Granatense de

Historia Natural, Ediciones Al Sur, Granada. [https://www.researchgate.net/publication/242294728\\_CAPITULO\\_18\\_LOS\\_HUMEDALES\\_Y\\_SUS\\_AVES\\_ASPECTOS\\_RELACIONADOS\\_CON\\_LA\\_ECOLOGIA\\_ESTATUS\\_Y\\_CONSERVACION](https://www.researchgate.net/publication/242294728_CAPITULO_18_LOS_HUMEDALES_Y_SUS_AVES_ASPECTOS_RELACIONADOS_CON_LA_ECOLOGIA_ESTATUS_Y_CONSERVACION)

- Perez Mungía, R.; Pineda López, R. y Medina Nava, M. (2007). Integridad biótica de ecosistemas acuáticos. En: Sánchez, O.; Herzig, M.; Peters, E.; Márquez-Huitzil, R y Zambrano L. (Edit.), Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. (pp. 71-111). Cd. de México: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Perpectivas-sobre-conservaci%C3%B3n-de-ecosistemas-acu%C3%A1ticos-en-M%C3%A9xico.pdf>
- Peterson, R.T. y Chalif E.L. (1989). Aves de México. Guía de campo. Editorial Diana. México. 473p.
- Ralph, C.J.; Geupel, G.R.; Pyle, P.; Martin, T.E.; DeSante, D.F. y Milá, B. (1996). Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres (p. 46). Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. [https://www.researchgate.net/publication/237284290\\_Manual\\_de\\_Metodos\\_de\\_Campo\\_para\\_el\\_Monitoreo\\_de\\_Aves\\_Terrestres](https://www.researchgate.net/publication/237284290_Manual_de_Metodos_de_Campo_para_el_Monitoreo_de_Aves_Terrestres)
- Ramsar (Secretaría de la Convención de Ramsar) (2013). Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (6a. ed., p. 120). Gland (Suiza). <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/manual6-2013-sp.pdf>
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 40(155): 254-274. <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.335>.
- SEMARNAP (Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). (2000). Carta Nacional Pesquera. México, D.F.: Secretaria de

Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario oficial de la federación, Publicado el 17 de agosto de 2000. <https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/carta-nacional-pesquera/Carta-Nacional-Pesquera-2000.pdf>

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Diario Oficial, publicado el 30 de diciembre de 2010, 2a Sección. México, DF. [http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM\\_059\\_SEMARNAT\\_2010.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf)

Springer, M.A.; Ramirez, A. y Hanson, P. (2010). Macroinvertebrados de Agua Dulce de Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical*, 58(4): 3-198. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i4>

Capítulo 8

**CARACTERIZACIÓN DE LAS  
COMUNIDADES VEGETALES  
ASOCIADAS A UN HUMEDAL  
TROPICAL URBANO  
EN TABASCO, MÉXICO**

Diana López Pérez  
Nelly del Carmen Jiménez Pérez  
Jesús Manuel Ascencio Rivera  
Ofelia Castillo Acosta  
Alma Deysi Anacleto Rosas<sup>1</sup>

**RESUMEN**

Los humedales urbanos actualmente se encuentran en constante transformación debido al crecimiento de la mancha urbana, lo que ocasiona que estos ecosistemas se modifiquen o pierdan por el cambio de uso de suelo, provocando la pérdida de hábitats, disminución de la biodiversidad, deforestación, erosión, la infertilidad de los suelos, contaminación y relleno de los cuerpos de agua. La División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol.-UJAT), se establece en el año de 1993 y a la fecha su superficie se ha visto reducida por el relleno de algunas zonas para la construcción de infraestructura, lo cual ha modificado

---

<sup>1</sup>Coordinadora del Programa de Acción de la DACBiol: flora; División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Correo electrónico: alma.anacleto@ujat.mx

la composición y distribución de la vegetación existente. Por lo cual el objetivo de este trabajo fue evaluar el componente florístico actual y la estructura de la vegetación arbórea de los diferentes ambientes que componen el Campus: Jardín Botánico (JB1), Tintal (T1), Pastizal (P1) y Humedal permanente (H1) para aportar información a la definición de una línea base de captura de carbono. En cada uno de estas zonas se muestreó una parcela circular (conglomerado) de 56.42 m de radio. El ambiente más diverso florísticamente fue el humedal con 40 especies, 38 géneros y 26 familias botánicas, seguido del JB1 y el P1 con 22 y 23 especies respectivamente y el ambiente menos diverso fue el T1 con 10 especies, 10 géneros y 8 familias botánicas. Estructuralmente en el JB1, el Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) presentó el mayor diámetro con 395 cm, la clase diamétrica más representativa fue de 11 - 20 cm con el 91.8 % de individuos, indicando que este sitio se encuentra en proceso de regeneración, por lo que es importante cuidar su recuperación, el guano redondo (*Sabal mexicana*) fue la especie con mayor índice de valor de importancia (IVI). En el T1, la palma real mexicana (*Roystonea dunlanpiana*) y *Sabal mexicana* fueron las que presentaron mayor diámetro, *Forestiera rhamnifolia* con el 100.22 % es la especie con mayor IVI. Las formas biológicas más representativas fueron las herbáceas y la menos representativas las epífitas. Cuatro especies se encuentran enlistadas en la NOM 059-SEMARNAT-2010, considerando a la DACBiol. –UJAT un sitio de importancia para la conservación.

## INTRODUCCIÓN

El estado de Tabasco posee una gran diversidad de flora y fauna típica de diferentes microambientes de zonas tropicales. Los tipos de vegetación presentes incluyen: pastizales que ocupan el 58.3% de la superficie estatal, vegetación hidrófita 20.5 %, agricultura 15.5%, bosques 1.15% y selvas 4.5% (INEGI, 2017); sin embargo, la composición de la cobertura natural vegetal se ha visto afectada por los intensos procesos de cambio de uso de suelo a causa de las actividades económicas impulsadas en la entidad como las de agricultura y ganadería (Tudela, 1992).

La División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol.-UJAT) cuenta con una superficie total de 24 hectáreas (ha), de las cuales 10 ha fueron asignadas para el establecimiento del Jardín Botánico Universitario subdividido en dos áreas: terrestre y acuática (Ascencio-Rivera y Maldonado-Mares, 2002). Asimismo, cobija dentro de sus instalaciones al Centro de Investigación para la Conservación de Especies Amenazadas (CICEA) creado con la finalidad de conservar especies de flora y fauna del estado de Tabasco bajo alguna categoría de amenaza y representativa de los humedales del sureste mexicano (Ascencio-Rivera y Maldonado-Mares, 2002). En los últimos años se conformó el Centro de Investigación para la Conservación y Aprovechamiento de los Recursos Tropicales (CICART), para contribuir al desarrollo de proyectos de investigación que compitan internacionalmente por la conservación y el manejo sustentable de los recursos naturales (Padrón, 2011).

Los humedales son considerados zonas de transición entre lo acuático y terrestre, son sistemas temporales o permanentemente inundados que muestran una enorme

diversidad de flora y fauna de acuerdo a su origen, localización geográfica, hidroperíodo, variables fisicoquímicas, características del suelo o sedimento y vegetación dominante. Los servicios ambientales que nos proporcionan los humedales son: biológicos, ecológicos, sociales, económicos y culturales (Moreno-Casasola e Infante Mata, 2016). RAMSAR considera como un humedal urbano y periurbano a los que se encuentran dentro de las ciudades, suburbios y en sus alrededores, este incluye ríos y llanuras de inundación, lagos y pantanos, así como marismas de agua salada, manglares y arrecifes de coral (Convención de Ramsar sobre humedales, 2018). En Tabasco, los impactos ambientales como el crecimiento poblacional y urbanización, la deforestación, el sobrepastoreo, la introducción de especies invasoras y la contaminación provocan cambios en la estructura de las comunidades vegetales y animales a nivel local, generando una pérdida de superficie y de la biodiversidad de nuestros recursos naturales disminuyendo los beneficios de las funciones que los humedales nos proporcionan.

Dentro de la DACBiol.-UJAT existe una vegetación secundaria conocida localmente como acahual. Esta vegetación anualmente es sometida a un proceso de inundación natural debido a las lluvias de temporada y a que el terreno es bajo. Las especies vegetales registradas son: guano redondo (*Sabal mexicana*), macuilis (*Tabebuia rosea*), tocoy (*Coccoloba barbadensis*), guatope (*Inga vera*), sauce (*Salix humboldtiana*) y cedro (*Cedrela odorata*). Al norte de la DACBiol.-UJAT se ubica un área de selva baja espinosa perennifolia de tinto (*Haematoxylum campechianum*), denominada regionalmente como tintal (Maldonado-Mares y Maldonado-Sánchez, 2016). Este tipo de vegetación formó parte de fragmentos continuos y discontinuos de vegetación riparia de ríos, lagunas y tierras bajas

desde Campeche, Tabasco y Veracruz (Miranda y Hernández, 1963; Pennington y Sarukhán, 2005). Se localiza principalmente en la Llanura baja de inundación del Golfo de México y abarca las cuencas de los ríos Coatzacoalcos, Grijalva y Usumacinta (Ortiz et al., 2005). Los suelos en los que se distribuyen principalmente son hidromórficos, gleysoles e histosoles que ocupan el 34 % del estado de Tabasco (Palma et al., 2007; Zavala et al., 2016). Otros suelos en los que se desarrolla el tintal son los Fluvisoles en contacto con cuerpos de agua como ríos y lagunas, vertisoles y los no hidromórficos con drenaje interno pobre. Como componentes florísticos de los tintales coexisten varias especies de árboles dentro de los que destaca el pucte (*Bucida buceras*), zapote cabeza de mico (*Licania platypus*), zapote de agua (*Pachira aquatica*), sauce (*Salix humboldtiana*), chelele (*Inga vera*) y las palmas tolerantes al agua corozo (*Attalea butyracea*) y palma real (*Roystonea dunlapiana*) (Pérez et al., 2005; Pennington y Sarukhán, 2005). Este ecosistema ofrece servicios ambientales como sumideros de carbono (Hernández, 2010), reciclaje de nutrientes y descomposición de materia orgánica con las termitas (*Nasutitermes* spp) (Moreno et al., 2017).

El Jardín Botánico de la DACBiol.-UJAT, lleva por nombre “José Narciso Rovirosa” en honor al célebre tabasqueño que dedicó parte de su vida a descubrir la riqueza natural vegetal de Tabasco (Ascencio-Rivera y Maldonado-Mares, 2002). Los jardines botánicos se consideran sitios de conservación de especies en algún estatus de protección dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010, como sitios de bancos de germoplasma permanentes y como centros de educación, difusión e investigación para la conservación de la biodiversidad vegetal (Cappello et al., 2012; Cámara et al., 2013).

Por otro lado, un Pastizal se denomina así por la presencia de gramíneas (pastos), pocos árboles y arbustos, vegetación en la mayor parte de los casos resultante en la región de la perturbación de humedales. Esta zona actualmente se ve afectada por la intrusión de ganado bovino de propiedades contiguas que se adentran a esta zona para alimentarse, lo que impacta al suelo, la vegetación y la fauna. Los pastizales prestan servicios ambientales como fuente de alimento al ganado, combustibles, contribuyen a la regulación del clima, la polinización, la purificación y recarga de acuíferos, el control de especies invasoras y la captura de carbono, así como valor cultural, espiritual y recreativo (Biodiversidad mexicana, 2018).

Este trabajo proporciona información acerca de las características de las comunidades vegetales que se encuentran dentro de la DACBiol.-UJAT etiquetadas por tipo de asociación vegetal: Jardín Botánico (JB1), Tintal (T1), Pastizal (P1) y Humedal permanente (H1), con la finalidad de proponer estrategias de conservación y preservación de la vegetación, así como planes de mitigación y compensación para garantizar a corto, mediano y largo plazo un desarrollo sustentable y el mantenimiento de la biodiversidad natural, como una medida para minimizar el impacto del cambio climático.

## ÁREA DE ESTUDIO

La División Académica de Ciencias Biológicas se localiza en el km 0.5 de la carretera Villahermosa - Cárdenas entronque a Bosque de Saloya, entre las coordenadas 17°59'26" y 17°59'71" latitud norte; 92°58'16" y 92°58'37" longitud oeste, ocupando una superficie de 21 ha (figura 1). Se localiza dentro de la llanura aluvial

baja de inundación del Río Carrizal con una pendiente ligera que va de 0 a 10 msnm (Balán, 2002). El clima corresponde a cálido húmedo con lluvias en verano (García, 2004). La vegetación se clasificó en siete diferentes asociaciones: 1) Acuáticas, 2) Vegetación secundaria de *Tabebuia rosea*, *Pithecellobium dulce*, *Sabal mexicana* y *Guazuma ulmifolia*, 3) Vegetación secundaria o “tintal” o acahual de *Haematoxylum campechianum*, 4) Arvenses o ruderales, 5) Tanayal (*Heliconia lastispatha*), 6) Humedal de *Pachira aquatica* y *Salix humboldtiana* y 7) Pastizal. En cuanto a la fauna se han registrados aves, anfibios, reptiles y mamíferos (Cappello et al., 2012; Macossay-Cortez et al., 2015).

## METODOLOGÍA

Se utilizó la metodología propuesta por el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (CONAFOR, 2015). Se seleccionaron cuatro conglomerados (parcela circular de una hectárea de 56.42 m de radio), una por cada tipo de asociación vegetal, etiquetadas de la siguiente manera: Jardín Botánico (JB1), Tintal (T1), Pastizal (P1) y Humedal permanente (H1), en las cuales se establecieron cuatro unidades de muestreo secundarias (UMS) o sitios, dispuestos geométricamente en forma de una “Y” invertida con respecto al norte (tabla 1, figura 2).

El estudio se realizó durante seis meses, estableciendo para los ambientes JB1 y T1 cuatro transectos de 40 x 10 m, registrando la altura en metros (m) y diámetro a la altura del pecho (DAP) en centímetros (cm) y etiquetando todos los árboles y arbustos con un diámetro  $\geq$  a 7.5 cm de DAP dentro de los transectos. Para los ambientes: P1 y H1 se registraron las hierbas y arbustos representativos de las comunidades hidrófilas y arvenses. En los

cuatro sitios estudiados, se colectaron los ejemplares botánicos con flor y/o fruto y se procesaron de acuerdo a las técnicas de herborización propuestas por Lot y Chiang (1986). Los ejemplares fueron llevados al Herbario UJAT para realizar la identificación taxonómica haciendo uso de bibliografía especializada como Flora de Guatemala (Standley et al., 1952), Flora de Veracruz (Sosa et al., 1994) y Flora de Chiapas (Smith, 1981). Los ejemplares colectados e identificados fueron integrados a la colección de Plantas Vasculares del Herbario UJAT (figura 3).

Para calcular los parámetros estructurales de la vegetación arbórea se utilizaron las siguientes fórmulas (Cox, 1980):

$$\text{Área basal} = (\text{DAP})^2 / 4 \times 3.1416$$

$$\text{Densidad} = \text{Número de individuos} / \text{Área muestreada}$$

$$\text{Densidad relativa} = \text{Densidad de una especie} / \text{Densidad total de todas las especies} \times 100$$

$$\text{Frecuencia absoluta} = \text{Número de sub-cuadros en que se encuentra una especie} / \text{Número total de sub cuadros muestreados}$$

$$\text{Frecuencia relativa} = \text{Frecuencia para cada especie} / \text{Suma total de los valores de todas las especies} \times 100$$

$$\text{Dominancia} = \text{Total del área basal de una especie} / \text{Área muestreada}$$

$$\text{Dominancia relativa} = \text{Dominancia por especie} / \text{Dominancia total de todas las especies} \times 100.$$

Para determinar el índice de valor de importancia (IVI) de cada especie, se sumaron los valores porcentuales de la frecuencia (%), densidad (%) y dominancia (%).

## RESULTADOS

### *Jardín Botánico*

#### **Composición florística**

De los censos realizados en las cuatro unidades de muestreo (UM), se registraron un total de 128 individuos, pertenecientes a 23 especies y 12 familias botánicas. La familia más representativa es Fabaceae con cinco especies, le sigue Arecaceae con cuatro especies, mientras que Malvaceae presenta tres especies (figura 4). Las formas biológicas más representativas son los árboles con 15 especies, seguido de las palmas con cuatro especies, tres arbustos y una arborescente (tabla 2).

Se diferenciaron dos estratos verticales. El estrato inferior constituido por el 93.5% de individuos menores a 10 m de altura. Las especies dominantes en este estrato fueron *Hampea nutricia* y *Chamaedorea elegans*. El estrato superior registró el 6.5 % de individuos mayores a 10 m de altura, siendo *E. cyclocarpum* la que sobresale del dosel con 28 m de altura. El mayor número de individuos se localiza en el estrato bajo y muy pocos en el estrato alto, lo que nos indica que la vegetación del Jardín Botánico se está regenerando (figura 5).

La clase diamétrica más representativa fue de 11 a 20 cm, localizándose en ella el 91.8% de los individuos registrados, mientras que las restantes clases diamétricas comprenden el 8.2% de los individuos. Conforme aumenta la altura, el número de individuos disminuye como se observa en la figura 6. La especie con mayor diámetro fue *E. cyclocarpum* con 395 cm.

Las especies con mayor Índice de valor de importancia (IVI) son: *Sabal mexicana* con 51.07 % y una dominancia relativa de 39.16%, mientras que *C. elegans* con 42.37% de IVI y una densidad relativa de 30.47%, presenta una dominancia relativa es baja de 2.14%. La especie con el menor valor de importancia fue *Cupania dentata* con 16.02 % (tabla 3).

### **Pastizal**

El área donde se ubican los sitios de muestreo corresponde a un agroecosistema denominado pastizal (inundable) utilizado para pastoreo de ganado vacuno. Estos sitios se encuentran influenciados por el régimen de inundación temporal. En general, se observan zonas de mínima actividad antropogénica y esto ha favorecido a la regeneración (acahualamiento) de la cobertura arbórea.

La cubierta vegetal se encuentra representada por especies de pastos, principalmente camalote (*Paspalum fasciculatum*) y pasto alemán (*Echinochloa polystachya*). Es frecuente encontrar arbustos como la zarza (*Mimosa pigra*) y el muco (*Dalbergia browni*). Se ubican pequeños fragmentos de vegetación secundaria (acahuales) con presencia de macuilis (*Tabebuia rosea*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), aceitunillo (*Forestiera corollata*), guano redondo (*Sabal mexicana*), palma real (*R. dunlapiana*) y majahua (*Hampea macrocarpa*).

Se identificó una riqueza florística de 22 especies que corresponden a 22 géneros y 14 familias botánicas. Las familias más representativas fueron Fabaceae con cinco especies y Poaceae con tres especies. Las formas biológicas más representativas son los árboles de ocho especies, herbáceas siete, cuatros arbustos, dos palmas y una arborescente (tabla 4).

### **Humedal permanente**

La vegetación que se encuentra dentro y alrededor del humedal permanente no es estrictamente hidrófila, hay especies que presentan ciertas adaptaciones y tolerancia a períodos de inundación, lo cual se ve reflejado en las especies del listado florístico (tabla 5). Se registraron 40 especies, 38 géneros y 26 familias botánicas. La familia Asteraceae fue la más diversa con cuatro géneros y cuatro especies, seguida de las familias Fabaceae y Convolvulaceae, con tres géneros y tres especies respectivamente. Los géneros más abundantes son *Commelina* y *Ludwigia* con dos especies presentes respectivamente (tabla 5).

Las formas de vida predominante son las herbáceas con 22 especies, los arbustos con ocho especies, trepadoras con seis especies, epífitas con dos especies, árboles y arborescente con una especie respectivamente.

La vegetación dominante en los sitios que permanecen inundados está compuesta por espadaño (*Typha domingensis*) con altura de 2 a 4 m y una amplia cobertura de lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), (figura 26).

### **Tintal**

Se registró un total de 182 individuos, los cuales se distribuyen en 10 especies, divididas en ocho familias. La familia más representativa es Arecaceae con tres especies, mientras que el resto de las familias presentan una sola especie. La forma biológica más representativa fue la arbórea y la menos representativa la arbustiva (tabla 6).

Se diferenciaron dos estratos verticales: bajo y alto. La Palma real mexicana (*R. dunlanpiana*) es la especie representativa del estrato medio con una altura de 19 m. El estrato bajo estuvo constituido por individuos menores a 10 m de altura (93.9%). La especie dominante en este estrato fue *Forestiera rhamnifolia* (limoncillo) con 106 individuos. La mayor concentración de los individuos se registró en el estrato bajo y muy pocos en el estrato alto (figura 7).

El mayor número de individuos se agrupa en la clase diamétrica de 11 a 20 cm de diámetro, observándose que conforme aumenta la altura el número de individuos disminuye. Las dos especies con mayor diámetro fueron: *R. dunlanpiana* y *S. mexicana*, mientras que *F. rhamnifolia* a pesar de ser muy abundante presenta diámetros pequeños (figura 8).

Las especies que presentaron el mayor índice de valor de importancia son: *F. rhamnifolia* con el 100.22% de IVI, siendo también la especie con mayor densidad relativa (58.24 %), en segundo lugar *R. dunlanpiana* con 59.97% y una dominancia relativa de 41.66 %, y la especie con el menor valor de importancia fue *T. rosea* con 29.49% (tabla 7).

## CONCLUSIONES

Los humedales son considerados ecosistemas de gran valor biológico, ecológico, económico, social y cultural y ofrecen múltiples servicios ambientales que benefician al ser humano. La diversidad de especies vegetales registradas en este estudio dentro de la DACBiol. - UJAT es de 39 familias, 72 géneros y 77 especies botánicas. La familia Fabaceae es la de mayor

riqueza de especies al concentrar 12 especies, en segundo lugar, Malvaceae con seis especies, seguidas de las familias Asteraceae y Arecaceae con cuatro especies respectivamente (tabla 8). La familia Fabaceae presenta una mayor distribución al registrarse especies en los cuatro ambientes (Jardín botánico, pastizal, humedal y tinal). Se registraron cuatro especies en alguna categoría de riesgo dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010: *R. dunlapiana*, *Calophyllum brasiliense*, *Ormosia macrocalyx* y *Cedrela odorata* (tabla 9).

Los datos obtenidos para las clases diamétricas muestran un patrón similar a los estudios de Vázquez et al., (2005) y Zarco et al., (2010), en donde las especies presentan un mayor número de individuos en los diámetros pequeños el cual va disminuyendo en las clases intermedias y decae en los diámetros mayores, lo que nos indica que la vegetación de estos sitios está en proceso de regeneración, por lo que es importante conservarlo.

Los humedales urbanos por encontrarse altamente presionados por las actividades antropogénicas que se desarrollan en las ciudades están en riesgos de desaparecer, por cual es vital cuidarlos, debido a que los servicios ambientales que prestan benefician al medio ambiente y a la ciudadanía.

Debido a esto se proponen las estrategias de conservación y preservación de la vegetación para la DACBiol.-UJAT: 1) Reforestar el área de tinal con plántulas de tinto (*H. campechianum*) de 1 m de altura obtenidas de vivero, 2) Crear un sendero que conecte los cuatro tipos de ambientes para evitar que al transitar se deforeste y el acceso sea permanente, 3) Proponer sitios fijos de avistamiento de aves, 4) Evitar la introducción de especies exóticas de flora y fauna, 5) Crear un

programa de monitoreo multidisciplinario a largo plazo de flora y fauna. Todas estas acciones tienen la finalidad de lograr que estas áreas continúen conservando su diversidad biológica, que a pesar de ser una pequeña superficie cuenta con especies en riesgo dentro de la NOM 059-SEMARNAT-2010. Monitoreos a largo plazo permitirán generar propuestas y planes de mitigación o compensación para minimizar los daños observados en el humedal urbano de la DACBiol-UJAT.

La DACBiol.-UJAT es un sitio idóneo que cuenta con cuatro tipos de ambientes: Dos arbóreos, un pastizal inundable y vegetación acuática lo que permite una diversidad de prácticas e investigaciones para la conservación y captura de carbono. Es importante generar conciencia ambiental entre la comunidad universitaria (profesores, estudiantes, administrativos e intendencia) y promover la investigación creando proyectos multidisciplinarios de flora y fauna, así como fomentar la protección y cuidado de su hábitat, en especial de aquellas que se encuentran en algún status de protección dentro de alguna normatividad ambiental.

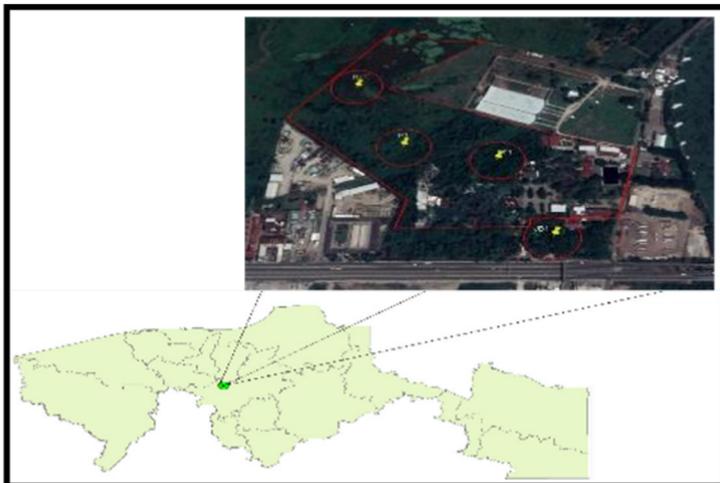
## **AGRADECIMIENTOS**

Al Proyecto de investigación “Programa ambiental de la DACBIOL. Primera fase: caracterización biológica de la DACBIOL. Clave 389.

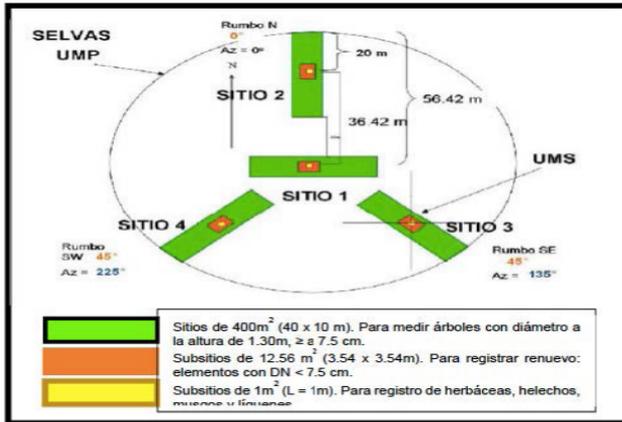
A la M.C. Rosa Martha Padrón López, Directora de la División Académica de Ciencias Biológicas- UJAT, por las facilidades y permisos otorgados para realizar los muestreos y el uso de las instalaciones y laboratorios.

Al Biol. Israel Contreras Sánchez, Biol. Mónica Alejandra Alamilla Landero y Biol. Fredi López Pérez por su colaboración en el análisis de la vegetación del Tintal. A la M.C.A. Mórvila Cruz Ascencio por su apoyo en los muestreos en el Humedal.

A los alumnos de la Licenciatura en Biología que cursaron las siguientes asignaturas: Ecología General (B07v), Tópicos de ecología en humedales y Dinámica trófica y manejo de humedales tropicales, Ecología General, Evaluación de Ecosistema Acuáticos, Ornitología, tesis y Química ambiental, por su apoyo en los muestreos de campo.



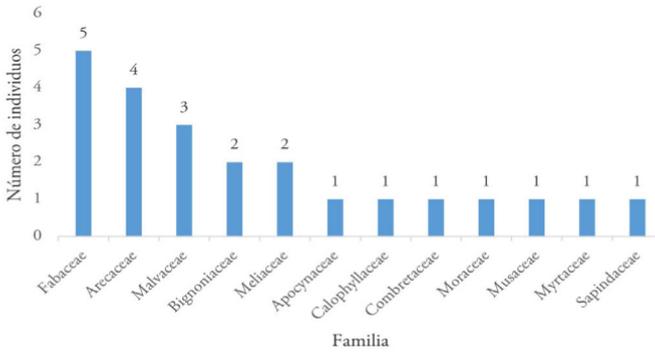
**Figura 1.** Polígono de la superficie de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL-UJAT), en círculos rojos se muestran los sitios de estudio etiquetados por tipo de ambiente: Jardín Botánico (JB1), Tintal (T1), Pastizal (P1) y Humedal (H1).



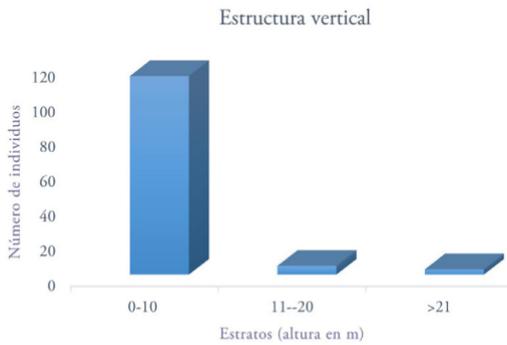
**Figura 2.** Diseño de la metodología propuesta para este estudio, tomada del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (CONAFOR, 2015).



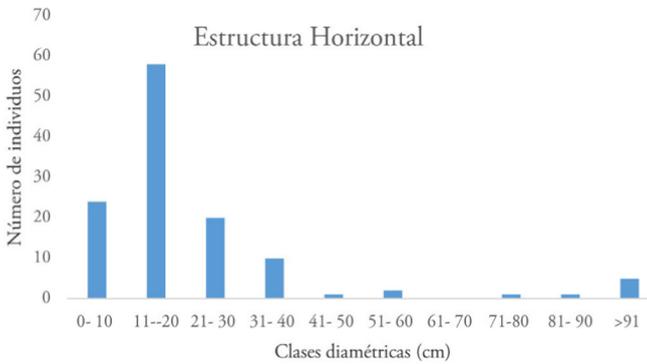
**Figura 3.** Ubicación de los cuatro cuadrantes muestrales dentro del conglomerado seleccionado del Jardín Botánico (JB1).



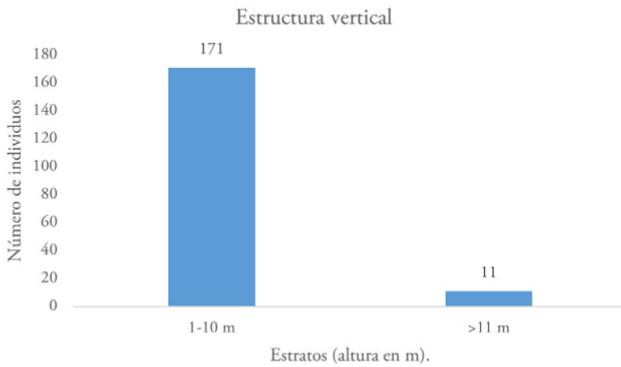
**Figura 4.** Familias botánicas por número de especies presentes en el Jardín Botánico de la DACBIOL-UJAT.



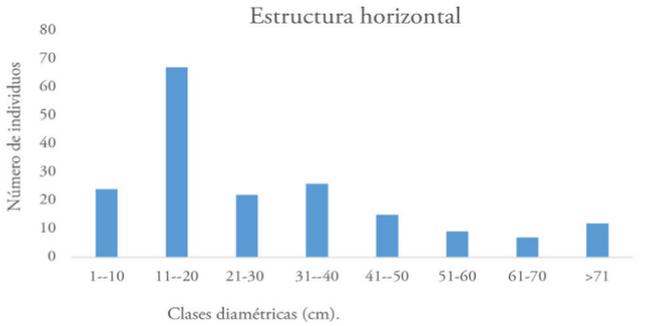
**Figura 5.** Distribución de los árboles por estratos (altura) en el Jardín Botánico de la DACBIOL-UJAT.



**Figura 6.** Distribución diamétrica del componente arbóreo en el Jardín Botánico de la DACBiol.-UJAT.



**Figura 7.** Distribución de los árboles por estratos (altura) en el Tintal de la DACBiol.-UJAT.



**Figura 8.** Distribución de las clases diamétrica del componente arbóreo en el Tintal de la DACBiol.-UJAT.

**Tabla 1.**

Etiquetas por tipo de ambiente. Las coordenadas están representadas en UTM (WGS84).

Tipo de vegetación	Etiqueta	Coordenadas
Tintal	T1	X= 502688. Y= 1989204
Jardín Botánico	JB1	X= 502497. Y= 1989264
Pastizal	P1	X= 502400. Y= 1989465
Humedal permanente	H1	X= 502793. Y= 1988975

**Tabla 2.**

Listado florístico del Jardín Botánico José Narciso Rovirosa.

Familia	Especie	Nombre común	Forma biológica
Apocynaceae	<i>Tabernaemontana chrysocarpa</i>	Lecherillo	Arbusto

Arecaceae	<i>Attalea butyracea</i>	Corozo	Palma
	<i>Chamaedorea elegans</i>	Chamaedorea	Palma
	<i>Roystonea dunlapiana</i>	Palma real	Palma
	<i>Sabal mexicana</i>	Guano redondo	Palma
Bignoniaceae	<i>Parmentiera aculeata</i>	Cuajilote	Árbol
	<i>Tabebuia rosea</i>	Macuilí	Árbol
Calophyllaceae	<i>Calophyllum brasiliense</i>	Bari	Árbol
Combretaceae	<i>Terminalia catappa</i>	Almendra	Árbol
Fabaceae	<i>Delonix regia</i>	Framboyan	Árbol
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Guanacastle	Árbol
	<i>Ormosia macrocalyx</i>	Caracolillo	Árbol
	<i>Pithecellobium lanceolatum</i>	Pithecellobium	Árbol
	<i>Samanea saman</i>	Samán, hormiguillo	Árbol
Malvaceae	<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba	Árbol
	<i>Hampea nutricia</i>	Majahua	Arbusto
	<i>Theobroma cacao</i>	Cacao	Árbol
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	Árbol
	<i>Trichilia havanensis</i>	Palo café	Árbol
Moraceae	<i>Ficus radula</i>	Palo crudo	Árbol
Musaceae	<i>Musa paradisiaca L.</i>	Plátano	Arborescente
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	Arbusto
Sapindaceae	<i>Cupania dentata</i>	Cola de pava	Árbol

**Tabla 3.**

Índice de Valor de Importancia (IVI) de las especies registradas en el Jardín Botánico J. Narciso Rovirosa.

<b>Especies</b>	<b>Frecuencia relativa (%)</b>	<b>Densidad relativa (%)</b>	<b>Dominancia relativa (%)</b>	<b>IVI (%)</b>
<i>Sabal mexicana</i>	4.88	7.03	39.16	51.07
<i>Chamaedorea elegans</i>	9.76	30.47	2.14	42.37
<i>Hampea nutricia</i>	9.76	14.84	3.07	27.67
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	2.44	1.56	17.20	21.20
<i>Roystonea dunlapiana</i>	2.44	7.81	10.93	21.18
<i>Cupania dentata</i>	7.32	5.47	3.23	16.02

**Tabla 4.**

Listado florístico del Pastizal ubicado dentro de la DACBiol.-UJAT.

<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Forma biológica</b>
Arecaceae	<i>Roystonea dunlapiana</i>	Palma real	Palma
	<i>Sabal mexicana</i>	Guano redondo	Palma
Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i>	Macuilí	Árbol
Caricaceae	<i>Carica papaya</i>	Papayita	Estípite
Combretaceae	<i>Combretum laxum</i>	Bejuco	Arbusto
Convolvulaceae	<i>Ipomoea purpurea</i>	Quiebraplato	Herbácea
Cucurbitaceae	<i>Melothria pendula</i>	Sandía de ratón	Herbácea
Cyperaceae	<i>Scleria pterota</i>	Navajuela	Herbácea
Ebenaceae	<i>Diospyros campechiana</i>	Cafetón	Árbol

Fabaceae	<i>Mimosa pigra</i>	Zarza	Arbusto
	<i>Dalbergia brownei</i>	Mucal	Arbusto
	<i>Lonchocarpus guatemalensis</i>	Gusano	Árbol
	<i>Zygia conzattii</i>	Hormiguillo	Árbol
	<i>Inga spuria</i>	Chelele	Árbol
Malvaceae	<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba	Árbol
	<i>Hampea rovirosae</i>	Majahua	Arbusto
Oleraceae	<i>Foresteria corollata</i>	Aceitunillo	Árbol
Poaceae	<i>Echinochloa polystachya</i>	Pasto Alemán	Herbácea
	<i>Leersia hexandra</i>	Pasto pelillo	Herbácea
	<i>Paspalum fasciculatum</i>	Pasto Camalote	Herbácea
Polygonaceae	<i>Coccoloba barbadensis</i>	Tocó	Árbol
Typhaceae	<i>Typha domingensis</i>	Espadaño	Herbácea

**Tabla 5.**

Listado florístico del humedal permanente ubicado dentro de la DACBiol.-UJAT.

Familia	Especie	Nombre común	Forma de vida
Alismataceae	<i>Sagittaria lancifolia</i>	Cola de pato	Herbácea
Apocynaceae	<i>Tabernaemontana chryso-carpa</i>	Lecherillo	Arbusto
	<i>Asclepias curassavica</i>	Rompemuelas	Herbácea
Araceae	<i>Pistia stratiotes</i>	Lechuga de agua	Herbácea
Araliaceae	<i>Hydrocotyle umbellata</i>	Sombrillita	Herbácea
Aspleniaceae	<i>Asplenium cristatum</i>	Helecho	Herbácea

<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Forma de vida</b>
Asteraceae	<i>Melanthera nivea</i>	Tololquelite	Herbácea
	<i>Neurolaena lobata</i>	Árnica	Arbusto
	<i>Emilia sonchifolia</i>	Pincelito	Herbácea
	<i>Acnella oppositifolia</i>	Tripa de pollo.	Herbácea
Begoniaceae	<i>Begonia fischeri</i>	Begonia	Herbácea
Caricaceae	<i>Carica papaya</i>	Papayita	Arborescente
Commelinaceae	<i>Commelina diffusa</i>	Hierba de pollo	Herbácea
	<i>Commelina erecta</i>	Espuelita	Herbácea
Convolvulaceae	<i>Aniseia martinicensis</i>	Palo bobo	Trepadora
	<i>Ipomoea purpurea</i>	Quiebraplato	Trepadora
	<i>Merremia umbellata</i>	Campanilla	Trepadora
Cucurbitaceae	<i>Momordica charantia</i>	Cundeamor	Trepadora
	<i>Melothria pendula</i>	Sandía de ratón	Trepadora
Cyperaceae	<i>Cyperus sp.</i>	Pasto	Herbácea
Fabaceae	<i>Mimosa pigra</i>	Zarza	Arbusto
	<i>Dalbergia brownei</i>	Muco	Arbusto
	<i>Senna pendula</i>	Baño de oro	Arbusto
Heliconiaceae	<i>Heliconia latispatha</i>	Platanillo	Herbácea
Lamiaceae	<i>Hyptis veticillata</i>	Hierba Martín	Herbácea
Malvaceae	<i>Malvaviscus arboreus</i>	Tulipancito	Arbusto
	<i>Hampea macrocarpa</i>	Majagua	Arbusto
Marsileaceae	<i>Marsilea crotophora</i>	Trébol de agua	Herbácea
Nyctaginaceae	<i>Neea psychotrioides</i>	Nea	Arbusto
Onagraceae	<i>Ludwigia octovalvis</i>	Camaronera	Herbácea
	<i>Ludwigia leptocarpa</i>	Ludwigia	Herbácea
Orchidaceae	<i>Bletia purpurea</i>	Candelaria	Epífita
	<i>Habenaria pringlei</i>	Orquídea	Epífita
Polygonaceae	<i>Polygonum lapathifolium</i>	Polygonum	Herbácea

<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Forma de vida</b>
Pontederiaceae	<i>Eichornia crassipes</i>	Lirio acuático	Herbácea
Pteridaceae	<i>Adiantum sp.</i>	Cabello de venus	Herbácea
	<i>Ceratopteris thalictroides</i>	Helecho de sumatra	Herbácea
Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guácimo	Árbol
Typhaceae	<i>Typha domingensis</i>	Espadaño	Herbácea
Vitaceae	<i>Cissus verticillata</i>	Bejuco de agua	Trepadora

**Tabla 6.**

Listado florístico del Tintal ubicado dentro de la DACBiol.-UJAT.

<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Forma biológica</b>
Apocynaceae	<i>Tabernaemontana chrysocarpa</i>	Lecherillo	Arbusto
Arecaceae	<i>Attalea butyracea</i>	Palma real	Palma
	<i>Roystonea dunlapiana</i>	Palma real	Palma
	<i>Sabal mexicana</i>	Guano	Palma
Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i>	Macuilí	Árbol
Fabaceae	<i>Haematoxylum campechianum</i>	Tinto	Árbol
Lauraceae	<i>Desconocida</i>	Aguacatillo	Arbusto
Malvaceae	<i>Hampea macrocarpa</i>	Majahua	Arbusto
Olaceae	<i>Forestiera rhamnifolia</i>	Limoncillo	Árbol
Polygonaceae	<i>Coccoloba barbadensis</i>	uvero	Árbol

**Tabla 7.**

Índice de Valor de Importancia (IVI) en el Tintal de la DACBiol.-UJAT.

Especies	Frecuencia rel. (%)	Densidad Rel. (%)	Dominancia Rel. (%)	IVI
<i>Forestiera rhamnifolia</i>	19.05	58.24	22.93	100.22
<i>Roystonea dunlapiana</i>	9.52	8.79	41.66	59.97
Sp. desconocida	9.52	17.58	10.18	37.29
<i>Tabebuia rosea</i>	9.52	4.95	15.02	29.49

**Tabla 8.**

Listado general de especies vegetales registrado dentro de la DACBiol.-UJAT por tipo de ambiente (Humedal, Jardín botánico, Pastizal y Tintal).

Familia	Género	Especie	Tipo de ambientes			
			Humedal	Jardín Botánico	Pastizal	Tintal
Alismataceae	<i>Sagittaria</i>	<i>lancifolia</i>	x			
Apocynaceae	<i>Asclepias</i>	<i>curassavica</i>	x			
	<i>Tabernaemontana</i>	<i>chrysocarpa</i>	x	x		x
Araceae	<i>Pistia</i>	<i>stratiotes</i>	x			
Araliaceae	<i>Hydrocotyle</i>	<i>umbellata</i>	x			
Arecaceae	<i>Attalea</i>	<i>butyracea</i>		x		x
	<i>Chamaedorea</i>	<i>elegans</i>		x		
	<i>Roystonea</i>	<i>dunlapiana</i>		x	x	x
	<i>Sabal</i>	<i>mexicana</i>		x	x	x
Aspleniaceae	<i>Asplenium</i>	<i>cristatum</i>	x			
Asteraceae	<i>Acmella</i>	<i>oppositifolia</i>	x			
	<i>Emilia</i>	<i>sonchifolia</i>	x			
	<i>Melantheru</i>	<i>nivea</i>	x			
	<i>Neurolaena</i>	<i>lobata</i>	x			

CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES VEGETALES...

Familia	Género	Especie	Tipo de ambientes			
			Humedal	Jardín Botánico	Pastizal	Tintal
Begoniaceae	<i>Begonia</i>	<i>fischeri</i>	x			
Bignoniaceae	<i>Parmentiera</i>	<i>aculeata</i>		x		
	<i>Tabebuia</i>	<i>rosea</i>		x	x	x
Calophyllaceae	<i>Calophyllum</i>	<i>brasiliense</i>		x		
Caricaceae	<i>Carica</i>	<i>papaya</i>	x		x	
Combretaceae	<i>Combretum</i>	<i>laxum</i>			x	
	<i>Terminalia</i>	<i>catappa</i>		x		
Commelinaceae	<i>Commelina</i>	<i>diffusa</i>	x			
		<i>erecta</i>	x			
Convolvulaceae	<i>Aniseia</i>	<i>martinicensis</i>	x			
	<i>Ipomoea</i>	<i>purpurea</i>	x		x	
	<i>Merremia</i>	<i>umbellata</i>	x			
Cucurbitaceae	<i>Melothria</i>	<i>pendula</i>	x		x	
	<i>Momordica</i>	<i>charantia</i>	x			
Cyperaceae	<i>Cyperus</i>	<i>sp.</i>	x			
	<i>Scleria</i>	<i>pterota</i>			x	
Ebenaceae	<i>Diospyros</i>	<i>campechiana</i>			x	
Fabaceae	<i>Dalbergia</i>	<i>brownei</i>	x		x	
	<i>Delonix</i>	<i>regia</i>		x		
	<i>Enterolobium</i>	<i>cyclocarpum</i>		x		
	<i>Haematoxylum</i>	<i>campechianum</i>				x
	<i>Inga</i>	<i>spuria</i>			x	
	<i>Lonchocarpus</i>	<i>guatemalensis</i>			x	
	<i>Mimosa</i>	<i>pigra</i>	x		x	
	<i>Ormosia</i>	<i>macrocalyx</i>		x		
	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i>		x		
	<i>Samanea</i>	<i>saman</i>		x		
	<i>Senna</i>	<i>pendula</i>	x			
<i>Zygia</i>	<i>conzattii</i>			X		
Heliconiaceae	<i>Heliconia</i>	<i>latispatha</i>	x			
Lamiaceae	<i>Hyptis</i>	<i>veticillata</i>	x			

Familia	Género	Especie	Tipo de ambientes			
			Humedal	Jardín Botánico	Pastizal	Tintal
Lauraceae	<i>Desconocida</i>	<i>Desconocida</i>				x
Malvaceae	<i>Ceiba</i>	<i>pentandra</i>		x	x	
	<i>Hampea</i>	<i>macrocarpa</i>	x			x
		<i>nutricia</i>		x		
		<i>roviroseae</i>			x	
	<i>Malvaviscus</i>	<i>arboreus</i>	x			
<i>Theobroma</i>	<i>cacao</i>		x			
Marsileaceae	<i>Marsilea</i>	<i>crotophora</i>	x			
Meliaceae	<i>Cedrela</i>	<i>odorata</i>		x		
	<i>Trichilia</i>	<i>bavanensis</i>		x		
Moraceae	<i>Ficus</i>	<i>radula</i>		x		
Musaceae	<i>Musa</i>	<i>paradisiaca</i>		x		
Myrtaceae	<i>Psidium</i>	<i>guajava</i>		x		
Nyctaginaceae	<i>Neea</i>	<i>psychotrioides</i>	x			
Oleaceae	<i>Forestiera</i>	<i>corollata</i>			x	
		<i>rhamnifolia</i>				x
Onagraceae	<i>Ludwigia</i>	<i>leptocarpa</i>	x			
		<i>octovalvis</i>	x			
Orchidaceae	<i>Bletia</i>	<i>purpurea</i>	x			
	<i>Habenaria</i>	<i>pringlei</i>	x			
Poaceae	<i>Echinochloa</i>	<i>polystachya</i>			x	
	<i>Leersia</i>	<i>hexandra</i>			x	
	<i>Paspalum</i>	<i>fasciculatum</i>			x	
Polygonaceae	<i>Coccoloba</i>	<i>barbadensis</i>			x	x
	<i>Polygonum</i>	<i>lapathifolium</i>	x			
Pontederiaceae	<i>Eichornia</i>	<i>crassipes</i>	x			
Pteridaceae	<i>Adiantum</i>	<i>sp.</i>	x			
	<i>Ceratopteris</i>	<i>thalictroides</i>	x			
Sapindaceae	<i>Cupania</i>	<i>dentata</i>		x		
Sterculiaceae	<i>Guazuma</i>	<i>ulmifolia</i>	x			
Typhaceae	<i>Typha</i>	<i>domingensis</i>	x		x	
Vitaceae	<i>Cissus</i>	<i>verticillata</i>	x			

**Tabla 9.**

Especies vegetales en algún estatus dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 registradas dentro de la DACBiol.-UJAT.

Familia	Género	Especie	Categoría
Arecaceae	<i>Roystonea</i>	<i>dunlapiana</i>	Pr
Calophyllaceae	<i>Calophyllum</i>	<i>brasiliense</i>	A
Fabaceae	<i>Ormosia</i>	<i>macrocalyx</i>	P
Meliaceae	<i>Cedrela</i>	<i>odorata</i>	Pr

Nota: P=En peligro de extinción, A=Amenazada, Pr=Sujeta a Protección especial.

## ANEXO FOTOGRÁFICO

### Áreas de los sitios de estudio



**Figura 9.** Vista panorámica de la DACBiol – UJAT y la vegetación circundante. Coordenadas: Latitud: 17 °59'23.93", Longitud: 92°58'17.26". Altitud: 83 m.



**Figura 10.** Vista panorámica del Cocosaurio y la vegetación circundante. Coordenadas: Latitud: 17 °59'26.14", Longitud: 92°58'30.95". Altitud: 90.2 m.



**Figura 11.** Vista panorámica del pastizal. Coordenadas: Latitud: 17 °59'27.14", Longitud: 92°58'37.46". Altitud: 30.8 m.



**Figura 12.** Vista panorámica del pastizal. Coordenadas: Latitud: 17 °59'26.90", Longitud: 92°58'38.07". Altitud: 90.1 m.



**Figura 13.** Vista panorámica de la vegetación hidrófila.  
Coordenadas: Latitud: 17 °59'40.69", Longitud: 92°58'27.32".  
Altitud: 21 m.



**Figura 14.** Vista panorámica de la vegetación hidrófila.  
Coordenadas: Latitud: 17 °59'42.67", Longitud: 92°58'27.29".  
Altitud: 64.3 m.

## JARDÍN BOTÁNICO



**Figura 15.** Medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) de los individuos arbustivos.



**Figura 16.** Estudiantes apoyando con el trabajo de campo en el Jardín Botánico.



**Figura 17.** Medición del perímetro a la altura del pecho (DAP) de un arbusto en el Jardín Botánico



**Foto 18** Individuo de Barí (*Calophyllum brasiliense*) en el jardín botánico. Especie protegida en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

## PASTIZAL



**Figura 19.** Delimitando las unidades de muestreo en el sitio P1.



**Figura 20.** Pastizal dominado por *Paspalum fasciculatum* (Pasto Camalote) y *Echinochloa polystachya* (Pasto Alemán), *Scleria pterota* (Navajuela).



**Figura 21.** Pastizal inundable utilizado para prácticas escolares.



**Figura 22.** Se observa ganado vacuno pastoreando dentro del Pastizal (P1).



**Figura 23.** Área de prácticas y entrenamiento para estudiantes y técnicos ambientales.



**Figura 24.** Colecta de ejemplares botánicos de *Ipomoea purpurea* (queiebraplatos).

## HUMEDAL PERMANENTE



**Figura 25.** Vegetación dominante de *Typha domingensis* (Espadaño) de 2 a 4 metros de altura.



**Figura 26.** Humedal permanente cubierto de *Pistia stratiotes* (Lechuga de agua).



**Figura 27.** Colecta y prensado de material botánico.



**Figura 28.** Individuos de *Bletia purpurea* (Candelaria) en floración en el humedal permanente (H1).



**Figura 29.** Estudiantes apoyando en la colecta de ejemplares botánicos dentro de la laguna permanente H1.



**Figura 30.** Colecta de ejemplares botánicos de *Pistia stratiotes* (Lechuga de agua), en floración.

## TINTAL



*Figura 31.* Panorámica del interior del Tintal.



*Figura 32.* Individuos de Palma real (*Roystonea dunlapiana*) en el interior del Tintal.



**Figura 33.** Individuo de Tinto (*Haematoxylum campechianum*) talado.



**Figura 34.** Individuo de Tinto (*Haematoxylum campechianum*) talado.

## ALUMNOS QUE APOYARON EN LOS MUESTREOS DE VEGETACIÓN:

**Alumnos de la Asignatura:** Ecología General (B07v).  
Impartido por la M.C.A. Diana López Pérez (Jardín Botánico).

- \* Arias Chablé Leonardo
- \* Benítez Sierra Yuni Georgina
- \* Cámara Gómez Ademary
- \* De La Cruz Escobar Maritza
- \* De La Cruz Fuentes Jesús Eulalio
- \* De La Cruz Magaña Alondra
- \* De Los Santos Hernández Jesús Lorenzo
- \* Del Ángel Licona César Armando
- \* Domínguez Sánchez Ángel Rodolfo
- \* Domínguez Sánchez Suleyma
- \* García Arias Jonathan
- \* García Rodríguez Susana Guadalupe
- \* Hernández Franco Héctor Enrique
- \* Jiménez de la Cruz Héctor Miguel
- \* León Martínez Isaí David
- \* López De La Cruz Elizabeth
- \* Mayo García Freddy
- \* Núñez Ortiz Carlos Guillermo
- \* Pérez Bautista Héctor Miguel
- \* Ramírez Cruz José Manuel
- \* Ramos Sánchez Irvin Ernesto
- \* Rivera Aguilar Luis Fernando
- \* Salvador Félix María Guadalupe
- \* Sánchez Gómez Carol Jovanny
- \* Sánchez González Karen Daniela

- \* Segura Priego Nury Del Carmen
- \* Valdivieso Castillo Itzél Araceli

**Alumnos de la asignatura:** Tópicos de ecología en humedales y Dinámica trófica y manejo de humedales tropicales  
Impartido por las M.C. Alma Deysi Anacleto Rosas (Humedales).

- \* Juárez López José Francisco
- \* Martínez González Jesús
- \* Torres Montejo Daniel
- \* Hernández Díaz José Eduardo
- \* Hernández Rodríguez Jorge Augusto
- \* Pérez López José Luis
- \* Arias de la Cruz Mario
- \* Díaz Hernández Karen Pamela
- \* Hernández Alejo Eddy
- \* Marín Ordoñez Heberto
- \* Márquez Córdova Mariana
- \* Domínguez Sánchez Eduardo
- \* Suárez Pedraza Sandra Cristell

**Alumnos de la asignatura:** Ecología General  
Impartido por el Mtro. Jesús Manuel Ascencio Rivera (Pastizal)

- \* Acosta López Carlos Armando
- \* Álvarez Arias Alexi Ricardo
- \* Arias Vera Pedro Luis
- \* Bravata Cruz Azucena Del Socorro
- \* Castro Brito Reyna Marina
- \* Cruz Vázquez Julia Cristell
- \* De La Cruz Barahona Sayra Briyit
- \* De La Cruz Gamas Maresa

- \* De La Flor Pérez Juan
- \* Díaz Martínez Néstor Gibran
- \* Falcón Pérez Erick Alejandro
- \* González Rivera Ivon Janet
- \* Gordillo Sierra Ana Margarita
- \* Guzmán Barahona Bruno Alejandro
- \* Jiménez Calzada Alexis
- \* Marín Palomino Emmanuel Jorge Guadalupe
- \* Méndez Hernández Ricardo
- \* Méndez Sarmiento Roberto
- \* Mendoza Hernández Laura Cecilia
- \* Montero Jerónimo Jorge David
- \* Orihuela Ovando Gamaliel
- \* Pérez Calderón María Fernanda
- \* Ramón Martínez Javier Armando
- \* Ronzón Torres Jonathan
- \* Zurita González Jorge

**Alumnos de la asignatura:** Maestría en Ciencias Ambientales

Impartido por el Dr. José Ángel Génico (vegetación)

Período: Agosto – Dic. 2017

- \* César Antonio Sepúlveda Quiroz
- \* Yazmín del C. Rosique de la Cruz
- \* Andrea Guadalupe Hilerio Ruiz
- \* Irving Iván Salvador Torres
- \* José Luis García Cruz
- \* Erika Cristell Martínez Ramón

## **ALUMNOS QUE APOYARON EN LOS MUESTREOS DE FAUNA:**

**Alumnos de la asignatura:** Evaluación de Ecosistema Acuáticos  
Impartido por la M.C. Mórvila Cruz Ascencio

- \* Arias Jiménez María Guadalupe
- \* Leyva Trinidad Carlos Alberto
- \* Magaña Vichel Goretti
- \* Marín Ordoñez Heberto
- \* Vidal Ascencio María Patricia

**Alumnos de la asignatura:** Ornitología y tesis  
Impartido por el M.C. Juan Manuel Koller González

- \* José Eduardo Mendoza Rojas (Tesis)
- \* Sheila Cristell Ramos (Tesis)
- \* Michelle Abril Morales Ibarra (Alumna)
- \* Enrique Heredia (Tesis)
- \* Michelle Beatriz Sánchez Rueda (Alumna)
- \* Jaime Priego (Alumno)

## **ALUMNOS QUE APOYARON EN LOS MUESTREOS DE SUELOS:**

**Alumnos de la asignatura:** Química ambiental  
Impartido por las M.C. Karla Cristel Cámara Moguel y M.C. Viridiana Wendy Velázquez Vázquez

- \* Gómez Mendoza Mariela Alejandra
- \* Jaime José Ek Pérez
- \* Flores Córdova Selene Virginia
- \* Ruíz Camacho Jesús Emmanuel
- \* Noé Jesús Rodríguez Rodríguez

## REFERENCIAS

- Ascencio Rivera, J.M. y Maldonado Mares F. (2002). El Jardín Botánico Universitario “José Narciso Rovirosa”. *Kuxulkab’*. 7(14):34-47.
- Balán, M.O.C. (2002). Importancia de la conservación de un fragmento de selva baja inundable (Tintal), en la DACBiol, de la UJAT. *Kuxulkab’*.8(15):39-46.
- Biodiversidad mexicana. (2018). Pastizales. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO). Consultado el 14 de mayo 2018, de: <<<http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/pastizales.html>>>
- Cámara, C.L.C.; Cappello, G.S.; Burelo, R.C.M.; Castillo, A.O.; Díaz, P.J.; Guadarrama, O.M.A.; Hernández, T.H.; Jiménez, P.N.C.; Magaña, A.M.A.; Rivas, A.M.G. y Vargas, S.G. (2013). Manual del Jardín Botánico Universitario José Narciso Rovirosa. 1ª Ed. – Villahermosa, Tabasco: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 71 p. ISBN: 978-607-606-096-4
- Cappello García, S.; Cámara C.L.C.; Rivas A. M.G.; Gordillo Ch.J.E.; Morales G.R. y Barragan V.M.R. (2012). Las colecciones del Jardín Botánico J. N. Rovirosa de la DACBiol y su importancia en la educación ambiental. *Kuxulkab’*. 18(35):23-30.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2015). Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Procedimientos de muestreo. SEMARNAT. Guadalajara, Jal., México. 261 p. Recuperado el 15 de febrero de 2018, de:<<<http://snigf.cnf.gob.mx/media/library/get/002/2730/anexo-procedimientos-de-.pdf>>>

- Convención de Ramsar sobre humedales. 2018. Ficha informativa 10. Humedales: esenciales para un futuro urbano sostenible. Consultado el 24 de septiembre de 2018. <[https://www.ramsar.org/sites/default/files/urbanwetlands\\_sp.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/urbanwetlands_sp.pdf)>
- Cox, W.G., (1980). *Laboratory manual of general ecology*. San Diego State University. William Publishers. San Diego State University. 237 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (30 de diciembre de 2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2a Sección. México, DF. 78 p. Recuperado el 15 de febrero de 2018, de: <[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5534594&yfecha=13/08/2018](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5534594&yfecha=13/08/2018)>
- Frías, M.A. (2012). *Flora vascular de la División de Ciencias Biológicas-UJAT*. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Serie de libros. Número 6. 5ª. Edición. Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F. 90 p. ISBN 970-32-1010-4
- Hernández, M.E. (2010). Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Terra Latinoamericana*, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. 28(2):139–147. ISSN: 0187-5779
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Tabasco 2017*. México. 440 p. Recuperado el 15 de abril de 2018, de: <[http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/)>

anuarios\_2017/702825095123.pdf>>

- Krebs, C.J. (1989). Species diversity measures 328 – 370 p. En: Krebs C.J. (Ed.) *Ecological methodology*. Uharper Collins Publishers, Inc.
- Lot A. y Chiang F. (comp.). (1986). *Manual de Herbario. Administración y Manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicas*. Consejo Nacional de la Flora de México A. C. México. D.F. 142 p. ISBN 9686144005.
- Macossay-Cortez, A.A.; Feria-Díaz, Y.; Jesús-García, M.C.; Florido, R.; Torres-Pérez, M.A.; Chan-López, M. y Montalvo-Urgel, H.E. (2015). Evaluación rápida de la biodiversidad y calidad del agua en el embalse suburbano «El Costeñito» y jardín botánico en la DACBiol-UJAT, Villahermosa Tabasco. *Kuxulkab'*, 21(40): 11-21. <<<http://ri.ujat.mx//handle/20.500.12107/2285>>>
- Maldonado Mares, F. y Maldonado Sánchez, E.A. (2016). *Manual de campo para la identificación de árboles, arbustos y palmas del Jardín Botánico Universitario “José Narciso Rovirosa” y sus alrededores, en Villahermosa, Tabasco, México*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 173 p. ISBN 9786076062340.
- Maunder, M. (2006). El futuro de los jardines botánicos del trópico y la conservación de especies y hábitats. Capítulo 2: 23-34. En: Lascurain, M., Gómez, O. Sánchez, O. Hernández C.C. (Eds). *Jardines Botánicos conceptos, operaciones y manejo*. Asociación Mexicana de Jardines Botánicos Publicación especial número 5. 180 p. ISBN 968-7313-01-3
- Miranda, F. y Hernández X., E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 28:29-179. DOI: <http://dx.doi.org/10.17129/botsci.1084>
- Moreno-Casasola, P. e Infante Mata, D.M. (2016). *Conociendo los manglares, las selvas inundables y los humedales herbáceos*. INECOL - OIMT - CONAFOR. 128 p. ISBN 978-607-7579-56-4. Recuperado el 10 de febrero de 2018, de: <<[http://www.inecol.mx/inecol/libros/Conociendo\\_los\\_manglares\\_las\\_selvas\\_](http://www.inecol.mx/inecol/libros/Conociendo_los_manglares_las_selvas_)

inundables\_y\_los\_humedales\_herbaceos.pdf>>

- Moreno-Jiménez, V.; Jiménez-Trinidad, A.; Hernández-Sánchez, F.J.; Flores-Escalona C.I. y Pérez-De la Cruz, M. (2017). Distribución de termiteros de *Nasutitermes* spp. (Insecta: Isoptera) en una selva baja inundable de tintal (*Haematoxylum campechianum* L.), en Tabasco, México. *Revista Nicaragüense de Entomología*. 121:3-14. ISSN 1021-0296
- Palomeque de la Cruz, M.A.; Galindo Alcántara, A.; Sánchez, A.J. y Escalona Maurice, M.J. (2017). Pérdida de humedales y vegetación por urbanización en la cuenca del río Grijalva, México. *Investigaciones Geográficas*. (68):151-172. [https://DOI: 10.14198/INGEO2017.68.09](https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.09)
- Ortiz-Pérez, M.A.; Siebe, C. y Cram, S. (2005). Diferenciación Ecogeográfica de Tabasco. Capítulo 14: 305-322. En: Bueno, J., Álvarez F. y Santiago S. (Eds.). *Biodiversidad del Estado de Tabasco*. Instituto de Biología. UNAM-CONABIO. México D.F. ISBN 9789709000269
- Padrón-López, R.M. (2011). Centro de Investigación para la Conservación y Aprovechamiento de los Recursos Tropicales (CICART). *Kuxulkab' XVII* (33): 81-82. DOI: <https://doi.org/10.19136/ku>
- Palma-López D.J.; J. Cisneros D.; E. Moreno C. y J.A. Rincón-Ramírez. (2007). *Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable*. Colegio de posgraduados-ISPROTAB-FUNDACION PRODUCE TABASCO. Villahermosa, Tabasco, México. 199 p. ISBN: 968-839-552-8
- Pennington, T.D. y Sarukhán, J. (2005). *Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies*. Ediciones Científicas Universitarias. UNAM. México. D.F. 523 p. ISBN 970-32-1643-9
- Pérez, L.A.; Sousa S.M.; Hanan, A.M.; Chiang, F. y Tenorio P. (2005). *Vegetación Terrestre*. Capítulo 4: 65 -110. En: Bueno, J., Álvarez

- F. y Santiago S. (Eds.). Biodiversidad del Estado de Tabasco. Instituto de Biología. UNAM-CONABIO. México D.F. ISBN 9789709000269
- Smith, A.R. (1981). Pteridophytes. En: D.E. Breedlove (Editor). Flora of Chiapas. Part 2. California Academy of Sciences. San Francisco. United States of America. 370 p.
- Standley, P.C. y Steyermark J.A. (1952). Flora de Guatemala. Fieldiana: Botánica, 24(3): 1–42.
- Sosa, V. y Gómez-Pompa, A (Comp.). (1994). Lista Florística. Flora de Veracruz. Fascículo 82. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México. 82 p.
- Tudela, F. (1992). La modernización forzada del trópico: El caso Tabasqueño. Proyecto Integrado del Golfo. Colegio de México. CINVESTAV, IFIAS, UNRISD. México. 475 p.
- Vázquez, N. I.; López P.D.; Montalvo, U.H.E.; Méndez, S.C.A. y Castillo, A.O. (2010). Estructura y composición florística de vegetación inundable en la División Académica de Ciencias Biológicas, Villahermosa, Tabasco. Kuxulkab'. Vol. 17 (31):21-30. DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a17n31.395>
- Zarco-Espinosa, V.M.; Valdez-Hernández J.I.; Ángeles-Pérez, G. y Castillo-Acosta, O. (2010). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. Universidad y Ciencia. 26(1):1–17 p. Consultado el 20 de junio 2018, de: <<http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v26n1/v26n1a1.pdf>>
- Zamora-Crescencio, P.; Rico-Gray, V.; Barrientos-Medina, R.; Puc-Garrido, E.C.; Villegas Pascale; Domínguez Carrasco, M.R. y Gutiérrez-Báez, C. (2017). Estructura y composición florística de la selva mediana subperennifolia en Bethania, Campeche, México. Polibotánica. 43:1-20. ISSN 1405-2768.
- Zavala-Cruz, J.; Jiménez R.R.; Palma-López, D.J.; Bautista Z.F. y Gavi R.F. (2016). Paisajes Geomorfológicos: Base para el levantamiento de suelos en Tabasco, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 3(8):161-177. Consultado el 18 de

junio 2018, de: <<<http://www.ciga.unam.mx/images/articulos/fbzuniga/643-5339-1-PB.pdf>>>

Capítulo 9

# ESTIMACIÓN DE CAPTURA DE CARBONO MEDIANTE EL USO DE ECUACIONES ALOMÉTRICAS EN DOS ÁREAS ARBÓREAS

Alma Deysi Anacleto Rosas  
Mórvila Cruz Ascencio  
Diana López Pérez  
Ofelia Castillo Acosta  
José Ángel Gaspar Génico<sup>1</sup>

## RESUMEN

El calentamiento global es uno de los problemas ambientales de escala mundial que más preocupa a la comunidad científica, principalmente por las altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, que es uno de los principales gases responsables de esta situación ambiental. El presente trabajo tiene por objetivo estimar la biomasa, el CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) y C (Carbono) en zonas arbóreas de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco a partir de métodos indirectos por ecuaciones alométricas de correlación mediante una categorización por hábitos de crecimiento de la vegetación (árboles, arbustos y estípites), evitando de este modo la

<sup>1</sup>Coordinador del Programa de Acción de la DACBiol: captura de carbono; División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Correo electrónico: angel.gaspar@ujat.mx

destrucción de los individuos que por métodos directos, implique un impacto para esas áreas. De los resultados obtenidos en el análisis de las 27 especies arbóreas en las áreas El Tintal y Jardín botánico, los valores máximos de biomasa (272.89 t/especie), CO<sub>2</sub> (500.75 t) y C (136.44 t) los presenta el Guanacastle (*Enterolobium cyclocarpum*) distribuido en el Jardín botánico y considerado una de las especies silvestres más importantes en la acumulación de carbono en el Estado de Tabasco. La palma real mexicana (*Roystonea dunlapiana*) se registró en El Tintal con la mayor biomasa (277.2 t/especie), CO<sub>2</sub> (508.6 t) y C (138.6 t), catalogada como especie no endémica y sujeta a protección especial por la NOM-059-SEMARNAT-2010.

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático global se traduce como el resultado del incremento en la temperatura superficial del planeta y representa uno de los problemas ambientales más serios que se enfrenta en las últimas décadas (IPCC, 1995).

Los bosques como sumideros de carbono y fuentes de oxígeno, han ganado gran interés e importancia, debido a la creciente preocupación mundial sobre el medio ambiente y el calentamiento global, esto debido a, su capacidad de contener y transformar el CO<sub>2</sub> en biomasa (Olivo y Soto, 2010; FAO, 2015). Este proceso de transformación inicia con la incidencia de la luz solar, en la cual, por una reacción química, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) absorbido de la atmósfera y el agua forman azúcares liberando oxígeno (O<sub>2</sub>) y reteniendo las moléculas de carbono e hidrógeno, estas dos últimas son utilizadas por la planta para la formación de savia y a su vez en biomasa (Marcet, 2013;

Almeraya del Valle y Sanchez-Quintanar, 2015). El Inventario Nacional de Emisiones y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) en México, determinan que el CO<sub>2</sub> comprende el 71% de las emisiones (INECC/SEMARNAT, 2015), lo cual es de interés por el IPCC en disminuir su concentración en la atmósfera a nivel mundial (IPCC, 2007; Díaz-Cordero, 2012). Considerando que los árboles son reservas naturales de carbono, productores de oxígeno y fijadores de CO<sub>2</sub> y que cerca del 40 % del contenido total de carbono de la tierra corresponde a bosques tropicales, es importante el estudio de su capacidad de asimilación de energía, debido a la gran preocupación mundial sobre el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Acosta-Mireles et al., 2002). Dentro de la vegetación forestal, los estratos arbóreo y herbáceo reúnen la mayor *biomasa*, que se traduce en la mayor concentración de carbono, dependiendo de la comunidad vegetal, el clima, la humedad, la especie, la calidad del sitio y la densidad (Ordoñez-Díaz, 2008).

Para conocer la cantidad de carbono de la vegetación forestal se requiere de métodos directos que implican destruir las unidades vegetales, sin embargo, el uso de métodos indirectos permite estimar la cantidad de biomasa y carbono capturado a partir de ecuaciones alométricas, utilizando variables numéricas por correlaciones entre diámetro y altura de individuos, y así evitar la perturbación en las zonas arbóreas (Brown, 1997; Schlegel, 2001; Acosta-Mireles, Castillo Anzures y Gómez Villegas, 2011; Díaz-Ríos et al., 2016). Para el caso de monocultivos se conocen ecuaciones alométricas para especies como la Teca, Hule, Eucalipto, Pino, Cedrillo y varias especies de Palmas. Sin embargo, no siempre se cuenta con ecuaciones para cada tipo de especie, por lo que se usan ecuaciones generales y en ocasiones se promedian los resultados de usar más de una ecuación en

determinado tipo de ambiente. Para evaluar especies leñosas en áreas forestales, bosques naturales y sistemas agroforestales se utilizan ecuaciones alométricas de referencia de acuerdo con la situación local (Rügnitz, Chacón y Porro, 2009).

La importancia de conservar los recursos naturales, y dentro de estos las especies vegetales, se ve reflejada en los diferentes servicios ecosistémicos que prestan al medio ambiente, sin embargo, la pérdida de estos recursos cada vez es mayor. En el caso del estado de Tabasco, principalmente en Pantanos de Centla se han reportado tasas de disminución anual en cobertura de selvas de 6.1% (selva baja) a 34.9% (selva mediana) y de 4.1 a 11.6% (selva alta) en zona sierra (Guerra Martínez y Ochoa Gaona, 2006; Salazar Conde et al., 2004). Pérez et al. (2005) mencionan que no obstante este pequeño porcentaje, los remanentes de selvas en Tabasco albergan una alta biodiversidad: alrededor de 2500 especies de plantas y representan una fuente importante de bienes (madera, medicinas) y servicios ambientales como la recarga hidrológica.

El objetivo de este estudio fue identificar las especies arbóreas de gran importancia ecológica y principalmente estimar a partir de ecuaciones alométricas la cantidad de biomasa y carbono almacenado de esas especies en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol-UJAT) la cual se encuentra ubicada en un sistema tropical en el sureste de México.

## MÉTODO

### *Sitio de muestreo*

Las zonas arboladas valoradas cubren las áreas del Jardín botánico y El Tintal cubriendo una superficie aproximada de 8.96 ha, cuya composición florística se constituye de especies nativas, naturalizadas, incluyendo frutales y ornamentales. La presencia de algunos árboles se atribuye a forestaciones aleatorias producto de contribuciones de campañas promovidas por profesores y estudiantes de la DACBiol-UJAT en diferentes años. El suelo original es inundable, presentando un manto freático somero, ya que de acuerdo con el INIFAP estas áreas que se encuentran cerca de la estación climatológica de González (DGE) en el municipio de Centro, registran una precipitación media anual de 2084.9 mm (Díaz Padilla et al., 2006).

Debido a la necesidad de simplificación de la metodología, se consideró únicamente la cuantificación del carbono en los depósitos de biomasa viva sobre el suelo, siendo de exclusión la biomasa viva bajo el suelo, y el carbono contenido en necromasa (materia orgánica muerta) en el suelo. Asimismo, solo se consideró las especies arbustivas y arbóreas con un diámetro altura a pecho (DAP) de 7.5 cm o más, sin embargo, no fueron incluidas las especies de crecimiento de hierbas, epífitas y trepadoras.

### *Técnica de muestreo*

En el Jardín botánico se establecieron cuatro unidades de muestreo (UM) de manera aleatoria, con dimensiones de 40 x 20 m (superficie de 800 m<sup>2</sup>), en la cual se censaron todos los árboles enraizados que se encontraron en las UM. La zona que rodea

a cada punto de muestreo se dividió en cuatro partes iguales o cuadrantes. En cada cuadrante se midió la distancia entre la planta más cercana al punto de muestreo y el mismo punto. También, se identificó al individuo y se midió su cobertura la cual incluye el diámetro a la altura del pecho (DAP), distancia con respecto al punto medio y altura (Franco López, 1998).

El método indirecto se consideró para evitar cortes en el árbol, y consiste en utilizar ecuaciones o factores de expresión que permitan relacionar algunas dimensiones básicas obtenidas en campo de fácil medición. Para obtener la biomasa de los individuos de cada especie los valores de DAP y la altura son transformados a biomasa por medio de una técnica estadística llamada análisis de asociación, denominadas ecuaciones alométricas (ver ecuación 1, 2 y 3). Una vez obtenida la biomasa se determina el % de Carbono y % CO<sub>2</sub> por el modelo de ecuación alométrica de un factor (ver ecuación 4 y 5).

### ***Ecuaciones alométricas para calcular biomasa sin corte***

Se aplicó la ecuación de Maderas duras de zonas tropicales húmedas la cual es indicada para precipitaciones de 2000-4000 mm anuales y a intervalos de DAP de 5-148 cm.

#### *Ecuación 1*

$$Y = \text{Exp} [-2.289 + 2.649 * \ln(DAP) - 0.021 * (\ln(DAP))^2]$$

Y = biomasa aérea seca total en kilogramos

DAP = diámetro a 1.30 m de altura en centímetros

Se utilizaron dos ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa para especies de la familia *Arecaceae* (palmas) propuestas en metodologías para áreas tropicales (IPCC, 2003) y el resultado se promedió:

*Ecuación 2*

$$Y = 23.487 + 41.851 * (\ln(HT))^2$$

*Y* = biomasa aérea seca total en kilogramos

*HT* = altura del estípite, en metros (para palmas es el tallo principal, excluidas las frondas)

*Ecuación 3*

$$Y = -6.666 + 12.826 * (HT)^2 * \ln(HT)$$

*Y* = biomasa aérea seca total en kilogramos

*HT* = altura del estípite, en metros (para palmas es el tallo principal, excluidas las frondas)

***Determinar %C y %CO<sub>2</sub>***

Para estimar el contenido de %C se utilizó una ecuación alométrica de un factor que va desde 0.40 hasta el 0.55 recomendada para climas tropicales y con una precipitación aproximada de 2000-4000mm anuales (IPCC, 1995; Brown, 1997; IPCC, 2003; Ruiz-Díaz et al., 2014).

Se aplicó el factor de conversión de 0.5 del IPPC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático).

*Ecuación 4*

$$C = B * 0.5$$

C= carbono

B= biomasa

Para estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido o almacenado se multiplicó la cantidad de carbono por 3.67 (Rügnitz et al., 2009).

*Ecuación 5*

$$CO_2 = C * 3.67$$

C= carbono

***Modelo exponencial***

Este modelo se ajustó después de obtener los valores estimados de biomasa con las ecuaciones alométricas. Para evaluar estadísticamente la normalidad de los datos de biomasa del jardín botánico y El Tintal se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov con la corrección de la significación de Lilliefors y el gráfico de Q-Q. Gómez-Castro et al. (2010) y Rodríguez-Larramendi et al. (2016) mencionan que el modelo es muy útil debido a que solo requiere de la variable DAP que es fácil de conseguir en campo, principalmente cuando la densidad de las plantas no permite observar la altura de la especie a medir.

## RESULTADOS

### *Jardín botánico*

Los resultados del muestreo en el área del Jardín botánico en cuestión de biomasa, permitieron identificar las especies dominantes *Enterolobium cyclocarpum* y *Ceiba pentandra*, las cuales engloban el 61%, es decir más de la mitad de biomasa almacenada en esta área (figura 1).

El almacenamiento de biomasa calculado en toneladas por especie (t/especie) indica que en el Jardín botánico la especie de Guanacastle (*Enterolobium cyclocarpum*), almacena un total de 272.89 t, 136.44 toneladas de Carbono (t/C) y un uso de 1001.51 toneladas de CO<sub>2</sub> (t/CO<sub>2</sub>). La especie de Ceiba (*Ceiba pentandra*) es la segunda especie que más peso acumuló con 162.76 t, 81.38 t de Carbono y un uso de 597.34 t de CO<sub>2</sub> para la formación de biomasa. La especie que menos biomasa reportó es el palo de uva (*Coccoloba barbadensis*), con 0.02 t, 0.01 t de Carbono y un uso de 0.09 t de CO<sub>2</sub> (tabla 1). Cabe mencionar que las dos especies más importantes en cuestión de acumulación de Carbono son especies silvestres del estado de Tabasco, lo cual les confiere una mayor importancia, además de la cantidad de Carbono que acumulan, ya que es un indicador de la importancia de la conservación de especies nativas. La especie de cedro rojo (*Cedrela odorata*) representa una baja acumulación de biomasa y Carbono, comparado con las especies mencionadas anteriormente, sin embargo, en la NOM-059-SEMARNAT-2010 la menciona como una especie no endémica, pero si protegida.

***Relación de la biomasa total por árbol y el DAP de los individuos muestreados en el Jardín botánico***

Estadísticamente la normalidad de los datos de biomasa presenta un valor de  $K=0.422$  ( $p=0.05$ ), el resultado indica que la variable no presenta una distribución Normal esto con un 95% de confianza. Esto se puede observar en el gráfico de Q-Q, el cual muestra una distribución de datos alejada de la línea recta trazada dentro de él (Figura 2). Esto indica que para su análisis se puede emplear técnicas que no requieran modelos lineales, en este caso se utilizó un modelo exponencial.

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo exponencial para describir la relación entre biomasa/especie y diámetro (DAP) (figura 3):

$$B = \exp (2.53804 + (0.0899705 * (DAP)))$$

$B$ = biomasa por especie

$DAP$ = Diámetro Altura a Pecho

Con un coeficiente de correlación de 0.75 y una  $r^2$  del 0.57 que explica el 57.23% de la variable de interés que es la biomasa, y un valor de  $p < 0.0001$ , lo que indica que existe una relación estadísticamente significativa entre la variable biomasa y el DAP, con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia de 0.05. El modelo exponencial del Jardín botánico indica que el rango de 5 a 70 cm de DAP es su mejor forma de estimación de biomasa, indicando que valores arriba de este valor pierden precisión y se observa al ver los datos alejados de la curva (figura 3).

## Tintal

Después de realizarse el trabajo de muestreo en El Tintal se identificaron nueve especies. El principal porcentaje en biomasa corresponde a la especie de palma real mexicana (*Roystonea dunlapiana*) con un 56% (figura 4). La palma real mexicana (*Roystonea dunlapiana*) es la que mayor biomasa acumula 277.2 t, 138.6 t de Carbono y 508.6 t de uso de CO<sub>2</sub>, la segunda en importancia es *Bernardia* sp con 79.2 t de biomasa, 39.6 t de Carbono y 145.3 t de uso de CO<sub>2</sub> (tabla 2). Es importante señalar que la especie de *Roystonea dunlapiana*, incrementa su valor de importancia debido a que se encuentra reportada en la NOM-059 catalogada como no endémica, pero si como una especie sujeta a protección especial (SEMARNAT, 2010). De manera descriptiva se puede observar que la principal acumulación de carbono se da en tres especies (*Roystonea dunlapiana*, *Bernardia* sp y *Tabebuia rosea*) y la especie de la cual recibe el nombre el área que es el palo tinto (*Haematoxylon campechianum*) presentó una baja acumulación de biomasa.

### ***Relación de la biomasa total por árbol y el DAP de los individuos muestreados en el Tintal***

El análisis estadístico presentó un valor de  $K=0.348$  ( $p=0.05$ ), el resultado indica que la variable biomasa obtenida por el conjunto de especies en El Tintal no presenta una distribución Normal esto con un 95% de confianza. En el gráfico de Q-Q se observa que los puntos no muestran una distribución que se acerque a la línea recta ya que entre más cercanos a la línea recta indicaría que los datos presentan una distribución Normal (figura 5). Se realizó un análisis para describir la relación entre

biomasa t/ especie y DAP bajo un modelo no lineal, en este caso un modelo exponencial (figura 6). La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es:

$$B = \exp (0.974071 + 0.201585 * (\text{DAP}))$$

$B$ = biomasa t/especie

$\text{DAP}$ = Diámetro Altura a Pecho

Con una correlación de 0.91 y una  $r^2$  del 0.84, que explica el 84.29% de la variable de interés que es biomasa, con un valor  $p$  de 0.0000 que indica una relación estadísticamente significativa entre la biomasa y el DAP, con un nivel de confianza del 95% (0.95) y un nivel de significancia de 0.05. El modelo exponencial muestra una mejor estimación de biomasa en el rango de 5 a 25 cm de DAP, arriba de este valor pierde su capacidad de poder estimar con precisión la cantidad de biomasa en la especie.

### ***Comparación de los resultados obtenidos en este trabajo con otros estudios***

En los resultados para estudios de áreas con clima templado se reportan de una a tres especies y en algunos casos el número de especies no está determinado. En el caso de estudios realizados en áreas con clima tropical el número de especies va de 1 a 24 especies. En relación con los contenidos de carbono por hectárea, en las áreas templadas oscilan entre 4.5 a 129.1 t/ha mientras que en zonas tropicales se estima de 4.5 a 609.9 t/ha, en el presente trabajo se calcularon 359.4 t/ha en el Jardín botánico, área con mayor diversidad (tabla 3, figura 7). La estimación de carbono en áreas con mayor diversidad de especies representa un mayor

grado de complejidad para poder estimar la acumulación debido a diversidad de sus formas y tipos de crecimiento por lo que se requiere de más de una ecuación alométrica.

## CONCLUSIONES

De las especies 28 especies encontradas en las dos zonas arboladas analizadas (Jardín botánico y El Tintal), las que más acumularon carbono son Guanacastle (*Enterolobium cyclocarpum*), Palma real mexicana (*Roystonea dunlapiana*) y Ceiba (*Ceiba pentandra*).

Con las estimaciones de biomasa, Carbono y CO<sub>2</sub> se puede identificar que el área del Jardín botánico es la que almacena más Carbono, aun cuando su superficie es menor comparada con El Tintal, siendo la diferencia de 2400 m<sup>2</sup>.

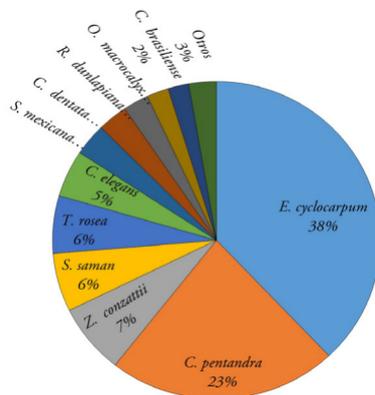
Entre las dos áreas se obtuvo un peso estimado de 608.55 t Carbono, considerando solo las especies arbustivas y arbóreas con porte grande. Además, se estimó un total de 2,233.07 t de Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para la formación de 1,217.02 t de biomasa, siendo la diferencia de peso el oxígeno liberado a la atmosfera.

La pérdida de eficacia en los valores obtenidos por el modelo exponencial en el área El Tintal puede ser a la falta de datos de ejemplares con DAP mayores a 25 cm, así como de estimaciones directas implicando la destrucción de algunos ejemplares o bien fragmentos de los ejemplares como ramas; aspecto que sería importante realizar en estudios posteriores para mejorar las estimaciones e identificar modelos locales que sean más eficaces como propone Picard et al. (2012) en

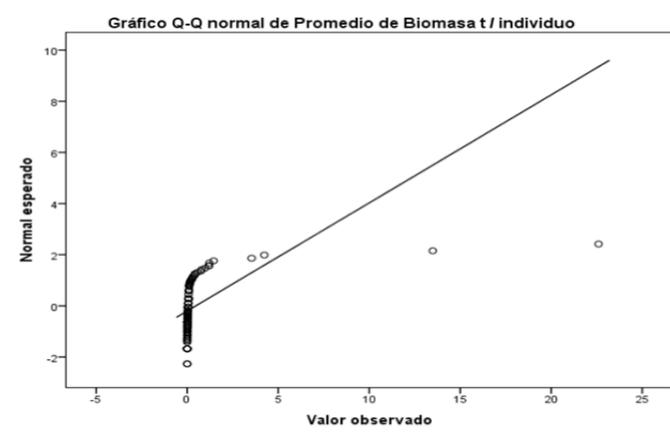
el Manual para construcción de ecuaciones alométricas, y así proponer estrategias forestales que permitan realizar acciones de mitigación para el cambio climático global.

Asímismo, es necesario incluir especies epifitas, trepadoras e hierbas, así como otras partes de las plantas, hojarasca y raíces, con lo cual se acercarán más las estimaciones de biomasa. También, al incluir otras especies con hábitos de crecimiento distinto al de árboles y arbustos es con la finalidad de conocer su aporte en captura de carbono.

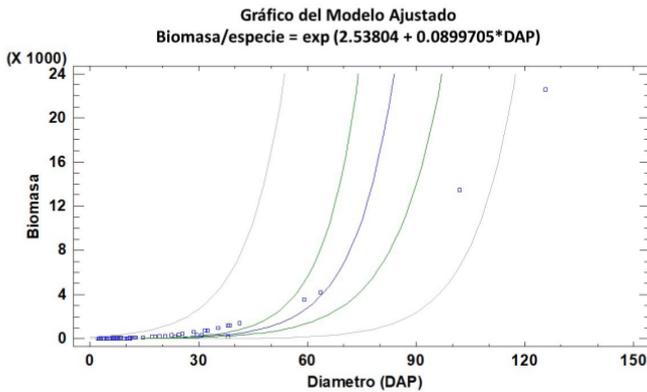
En las dos áreas de estudio el número de especies registradas de 27 especies entre el Jardín botánico y El Tintal, es un dato que en comparación a trabajos publicados en áreas templadas donde el número de especies oscila entre seis a menos especies, nos permite observar una clara diferenciación de crecimiento secundario lo cual representa un mayor grado de complejidad y sobre todo información de captura de carbono en áreas con gran diversidad.



**Figura 1.** Porcentaje de biomasa por especie en el Jardín botánico



**Figura 2.** Gráfica de Q-Q Normal de la variable biomasa del área verde en el Jardín botánico “José Narciso Rovirosa”.



**Figura 3.** Gráfica del Modelo exponencial ajustado, para la relación biomasa y diámetro a la altura del pecho (DAP) de las especies del Jardín botánico.

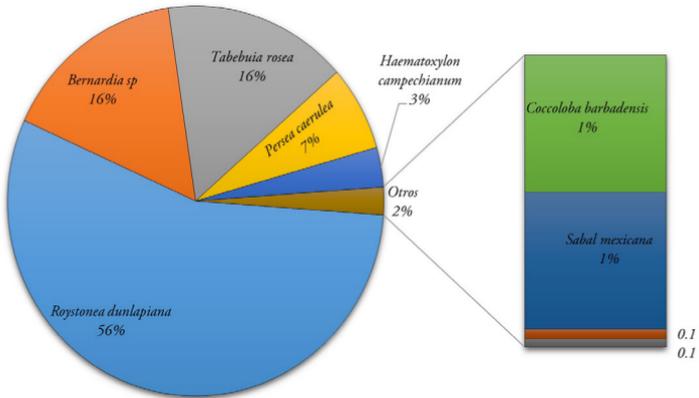


Figura 4. Porcentaje de biomasa por especie en El Tintal.

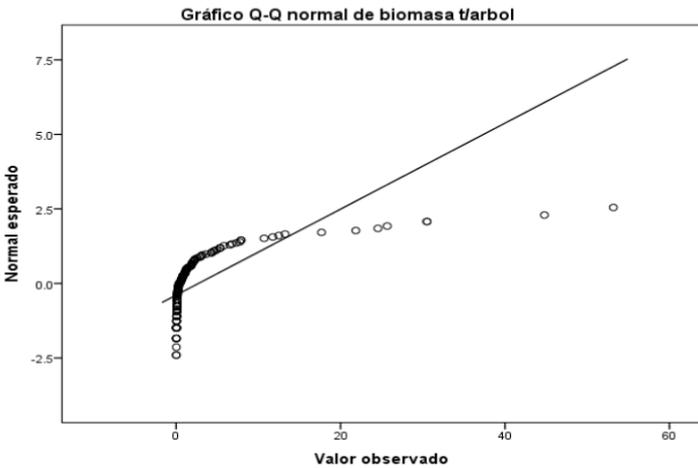
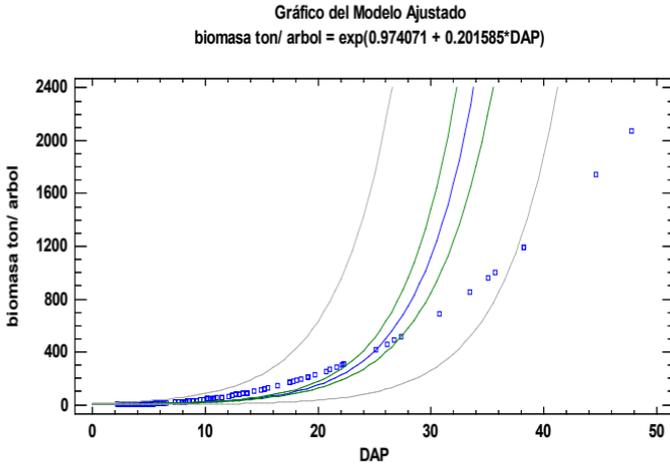
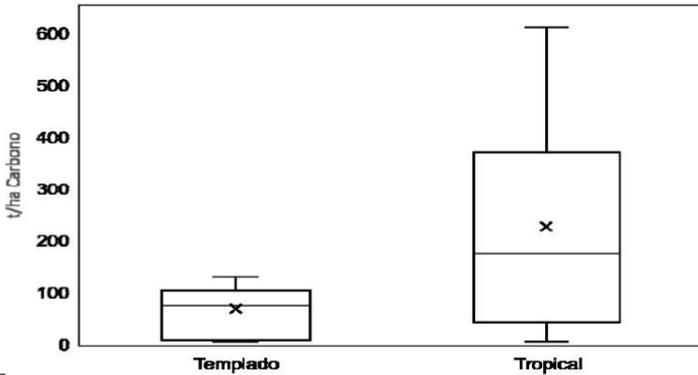


Figura 5. Gráfica de Q-Q Normal de la variable biomasa del área verde en El Tintal.



*Figura 6.* Modelo exponencial ajustado, para la relación biomasa y diámetro a la altura del pecho (DAP) de las especies en El Tintal.



*Figura 7.* Diagramas de cajas y bigotes representando los resultados obtenidos en t/ha de Carbono en diferentes trabajos de zonas tropicales y templadas.

**Tabla 1.**  
Contenido de biomasa, Carbono y CO<sub>2</sub> en el Jardín botánico, expresado en toneladas (t).

<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>t de biomasa</b>	<b>t de C</b>	<b>t de CO<sub>2</sub></b>
Guanacastle	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	272.89	136.44	500.75
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	162.76	81.38	298.66
Hormiguillo	<i>Zygia conzattii</i>	51.10	25.55	93.77
Saman	<i>Samanea saman</i>	42.70	21.35	78.35
Macuili	<i>Tabebuia rosea</i>	42.17	21.08	77.38
Chamaedorea	<i>Chamaedorea elegans</i>	34.19	17.09	62.74
Guano redondo	<i>Sabal mexicana</i>	23.55	11.77	43.21
Cupania	<i>Cupania dentata</i>	21.38	10.69	39.23
Palma real mexicana	<i>Roystonea dunlapiana</i>	18.15	9.07	33.31
Caracolillo	<i>Ormosia macrocalyx</i>	15.50	7.75	28.44
Bari	<i>Calophyllum brasiliense</i>	14.65	7.33	26.88
Almendra	<i>Terminalia catappa</i>	7.79	3.89	14.29
Fabacea	<i>Bauhinia forficata</i>	3.17	1.58	5.82
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	2.48	1.24	4.55
Majahua	<i>Hampea macrocarpa</i>	2.26	1.13	4.15
Corozo	<i>Attalea butyracea</i>	1.91	0.95	3.50
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	0.69	0.34	1.27
Plátano	<i>Musa paradisiaca</i>	0.55	0.27	1.01
Cuajilote	<i>Parmientera aculeata</i>	0.27	0.13	0.50
Poulsenia	<i>Poulsenia armata</i>	0.31	0.20	0.57
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	0.13	0.06	0.24
Lecherillo	<i>Tabernaemontana chrysocarpa</i>	0.06	0.03	0.11
Ficus	<i>Ficus sp</i>	0.05	0.02	0.09
Palo de uva	<i>Coccoloba barbadensis</i>	0.02	0.01	0.04
Total general		718.82	359.41	1,318.87

**Tabla 2.**

Contenido de biomasa, Carbono y CO<sub>2</sub> en El Tintal, expresado en toneladas (t).

Nombre común	Nombre científico	t de biomasa	t de C	t de CO <sub>2</sub>
Palma real mexicana	<i>Roystonea dunlapiana</i>	277.2	138.6	508.6
Limoncillo	<i>Bernardia sp</i>	79.2	39.6	145.3
Macuili	<i>Tabebuia rosea</i>	78.9	39.5	144.8
Aguacatillo	<i>Persea caerulea</i>	35.1	17.6	64.5
Palo tinto	<i>Haematoxylon campechianum</i>	16.4	8.2	30.1
Úvero	<i>Coccoloba barbadensis</i>	5.4	2.7	9.9
Guano redondo	<i>Sabal mexicana</i>	5.4	2.7	9.8
Majahua	<i>Hampea macrocarpa</i>	0.4	0.2	0.7
Lecherillo	<i>Tabernaemontana chrysocarpa</i>	0.3	0.2	0.6
Total general		498.20	249.10	914.20

**Tabla 3.**

Comparación del presente estudio con resultados obtenidos de áreas tropicales y áreas templadas.

Tipo de clima	Autor	Estado	Número de especies	t/ha de Carbono
Templado	Ordóñez y H.J. de Jong (2001)	Michoacán	1	74.0
	Pineda López et al. (2005)	Veracruz	1	65.0
	Alba Landa et al. (2007)	Veracruz	1	4.3
	Flores Ramírez et al. (2012)	Veracruz	1	7.2
	Ordóñez Díaz et al. (2015)	Michoacán	2	103.1
			3	129.1
	García Cepeda et al. (2016)	Estado de México	1	91.2

Tipo de clima	Autor	Estado	Número de especies	t/ha de Carbono
Tropical	Seppänen (2002)	Tabasco	1	609.9
	Mendizábal-Hernández et al. (2009)	Veracruz	1	4.5
	Yerena Yamalle et al. (2014)	Tamaulipas	24	14.3
	Rodríguez-Larramendi et al. (2016)	Chiapas	1	380.1
			1	172.1
			1	173.9
			1	70.5
	Presente trabajo	Tabasco	18	359.4
			9	249.1

## REFERENCIAS

- Acosta-Mireles, M.; Vargas-Hernández, J.; Velázquez-Martínez A. y Etchevers-Barra J.D. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones Alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*, 36 (6): 725-736. ISSN: 1405-3195. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236610>
- Acosta-Mireles M.; Carrillo Anzures F. y Gómez Villegas, R.G. (2011) Estimación de biomasa y carbono en dos especies de bosque mesófilo de montaña. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(4): 529-543. ISSN 2007-0934 [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttextypid=S2007-09342011000400005](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextypid=S2007-09342011000400005)
- Alba-Landa, J.; Mendizábal-Hernández, L. y Méndez, M.C. (2007). Potencialidad diferencial de captura de carbono de una plantación de *Pinus greggii* Engelm. en Naolinco, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 9(2): 57-60. ISSN: 1405-7247 <https://www.redalyc.org/pdf/497/49790209.pdf>
- Almeraya del Valle, E.V. y Sánchez-Quintanar, E. (2015). Adaptaciones fotosintéticas en las plantas para mejorar la captación del carbono. *Ciencia*, 66(4): 72-79. [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66\\_4/PDF/AdaptacionesFotosinteticas.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66_4/PDF/AdaptacionesFotosinteticas.pdf)

- Brown, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A primer*. (p. 87). (FAO. Forestry Paper. Rome 134). ISSN 0258-6150 <http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.htm>
- Díaz-Cordero, G. (2012). El Cambio Climático. *Ciencia y Sociedad*, XXXVII (2): 227-240. ISSN: 0378-7680 <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87024179004>
- Díaz Padilla, G.; Ruiz Corral, J.A.; Medina García, G.; Cano García, M.A. y Serrano Altamirano, V. (2006). *Estadísticas climáticas Básicas del Estado Tabasco* (Período 1961-2003). (p. 159). INIFAP. CIRCOG. Campo Experimental Cotaxtla. Libro Técnico Núm. 12. Veracruz, México. ISBN 970-43-0019-0. <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/3415/estadisticasclimatologicasbasicasparaalestadodetabasco.pdf?sequence=1>
- Díaz-Ríos, M.J.; Vázquez-Alarcón, A.; Uribe-Gómez, M.; Sánchez Vélez, A.; Lara Bueno, A. y Cruz León, A. (2016). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en aire obtenidas mediante un método no destructivo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Pub. Esp. (16): 3235-3249. ISSN: 2007-0934. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263146726007>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2015). *Informe 2015 de la evaluación de los recursos forestales mundiales de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. ISBN 978-92-5-308826-3. <http://www.fao.org/3/a-i4808s.pdf>
- Flores Ramírez, N.F.; Mendizábal-Hernández, L. y Alba-Landa, J. (2012). Potencial de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> en el valle de Perote. Estudio de caso: *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* D.K. Bailey. *Foresta Veracruzana*, 14(1): 17-22. ISSN 1405-7247 <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49724122003>
- Franco López, J. (1998). *Manual de ecología*. (2<sup>da</sup> ed., 5<sup>th</sup>, reimp., p. 266). México, DF. Trillas. ISBN- 968-24-3218-9

- García Cepeda, I.X.; Almeida Leñero, L. y Ávila-Akerberg, V. (2016). Estimación del almacenamiento de carbono y la percepción social de los servicios ecosistémicos que brinda el bosque de *Abies religiosa* de la cuenca presa Guadalupe, Estado de México. *Teoría y Praxis*, 19: 65-93. E-ISSN 1870-1582 <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=456146535005>
- Guerra Martínez, V. y Ochoa Gaona, S. (2006) Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990-2000). *Investigaciones geográficas*, (59): 7-25. ISSN 2448-7279 <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n59/n59a2.pdf>
- Gómez-Castro, H.; Pinto-Ruiz, R.; Guevara-Hernández, F. y Gonzalez-Reyna, A. (2010). Estimaciones de biomasa aérea y carbono almacenado en *Gliricidia sepium* (Lam.) y *Leucaena leucocephala* (Jacq.) y su aplicación en sistemas silvopastoriles. *ITEA*, 106(4):256-270. ISSN 1699-6887 [http://aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2010/106-4/ITEA\\_106-4.pdf#page=32](http://aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2010/106-4/ITEA_106-4.pdf#page=32)
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático) y SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2015). *Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. INECC/SEMARNAT, México. <https://unfccc.int/resource/docs/nat/mexbur1.pdf>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (1995). *Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analysis*. Cambridge University Press, UK. 878 p. ISBN 0-521-56437-9 [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ipcc\\_sar\\_wg\\_II\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ipcc_sar_wg_II_full_report.pdf)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. (p. 595). *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Kanagawa, JP, IGES. ISBN 4-88788-003-0 [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf\\_files/GPG\\_LULUCF\\_FULL.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf)

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. (p. 104). Ginebra, Suiza. ISBN 92-9169-322-7 <http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/spa/doc17530/doc17530.pdf>
- Marcet, J. (2013). *Conversations on Vegetable Physiology: Comprehending the Elements of Botany, with their Application to Agriculture*. Cambridge Library Collection - Botany and Horticulture. Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781107375079
- Mendizábal-Hernández, L.C.; Alba-Landa, J. y Suárez-Dorantes, T. (2009). Captura de carbono por *Cedrela odorata* L. en una plantación de origen genético conocido. *Foresta Veracruzana*, 11 (1): 13-18. ISSN: 1405-7247 <https://www.redalyc.org/pdf/497/49711999003.pdf>
- Olivo, M. y Soto, A. (2010). Comportamiento de los gases de efecto invernadero y las temperaturas atmosféricas con sus escenarios de incremento potencial. *Universidad Ciencia y tecnología*, 2010 - scielo.org.ve. ISSN 1316-4821
- Ordóñez, J.A. y H.J. de Jong, B. (2001). Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques*, 7(2): 27-47. <https://doi.org/10.21829/myb.2001.721310>
- Ordóñez-Díaz, J.A.B. (2008). Cómo entender el manejo forestal, la captura del carbono y el pago de servicios ambientales. *Ciencias*, abril-junio 90: 36-42. ISSN (Versión impresa): 0187-6376 <https://www.redalyc.org/pdf/644/64411395006.pdf>
- Ordóñez-Díaz, J.A.B.; Rivera Vázquez, R., Tapia Medina, M.E. y Ahedo Hernández, L.R. (2015). Contenido y captura potencial de carbono en la biomasa forestal de San Pedro Jacuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(32): 7-16 ISSN: 2007-1132 <https://www.redalyc.org/pdf/634/63444671002.pdf>
- Pérez, L.A.; Sousa, S.M.; Hanan, A.M.; Chiang, F. y Tenorio, P. (2005). Vegetación terrestre. En: Bueno, J.; Álvarez, F y Santiago,

- S. (Edit.), *Biodiversidad del estado de Tabasco* (pp. 65-110). Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México, DF. ISBN 970-9000-26-8
- Pineda López, M.; Ortiz Ceballos, G. y Sánchez Velásquez, L.R. (2005). Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques*, 11(2): 3-14. ISSN 1405-0471 <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61711201>
- Rodríguez-Larramendi, L.A.; Guevara-Hernández, F.; Reyes-Muro, L.; Ovando-Cruz, J., Nahed-Toral, J.; Prado-López, M. y Campos Saldaña, R.A. (2016). Estimación de biomasa y carbono almacenado en bosques comunitarios de la región Frailesca de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7 (37): 77-94. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63449187007>
- Rügnitz, M.T.; Chacón, M.L. y Porro R. (2009). *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales*. (1<sup>ra</sup> Ed., p.79). Lima, Perú. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). ISBN: 978-92-9059-254-9 <http://www.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/B16291.pdf>
- Ruíz- Díaz, C.; Rodríguez-Ortiz, G.; Leyva-López, J.C. y Enríquez-del Valle, J.R. (2014). Metodologías para estimar biomasa y carbono en especies forestales de México. *NATURALEZA Y DESARROLLO*, enero-junio 12(1): 28-45. ISSN 2007-204X [https://www.ciidiroaxaca.ipn.mx/revista/sites/www.ciidiroaxaca.ipn.mx.revista/files/pdf/vol12num1/nyd\\_vol12\\_num1\\_2014\\_art3.pdf](https://www.ciidiroaxaca.ipn.mx/revista/sites/www.ciidiroaxaca.ipn.mx.revista/files/pdf/vol12num1/nyd_vol12_num1_2014_art3.pdf)
- Salazar Conde, E.; Zavala Cruz, J.; Castillo Acosta, O. y Cámara Artigas, R. (2004). Evaluación espacial y temporal de la vegetación de la Sierra Madrigal, Tabasco, México. *Investigaciones Geográficas*, (54): 7-23. ISSN 2448-7279 <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n54/n54a2.pdf>
- Schlegel, B. (2001). *Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde* (ponencia presentada en el Simposio

Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales). Valdivia - Chile. [https://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio\\_carbono/45\\_schlegel.PDF](https://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/45_schlegel.PDF)

- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo*. Diario Oficial, publicado el 30 de diciembre de 2010, 2a Sección. México, DF. [http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM\\_059\\_SEMARNAT\\_2010.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf)
- Seppänen, P. (2002). Secuestro de carbono a través de plantaciones de eucalipto en el trópico húmedo. *Floresta Veracruzana*, 4(2): 51-58. ISSN: 1405-7247 <https://www.redalyc.org/pdf/497/49740208.pdf>
- Yerena Yamallel, J.I.; Jiménez Pérez, J.; Alanís Rodríguez, E.; Aguirre Calderón, O.A.; González Tagle, M.A., y Treviño Garza, E.J. (2014). Dinámica de la captura de carbono en pastizales abandonados del noreste de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(1): 113-121. E-ISSN: 1870-0462 <https://www.redalyc.org/pdf/939/93930735009.pdf>

## COMPILADORES

Rosa Martha Padrón López

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7242-7247>

Correo electrónico: marthap@ujat.mx

Bióloga y Maestra en Ciencias Ambientales por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Su línea de investigación es la microbiología acuática. Ha participado y colaborado en diversos proyectos de investigación sobre calidad microbiológica en aguas, bivalvos, peces y humedales artificiales, entre otros. Su labor como docente se ha reflejado en la formación académica de estudiantes de licenciatura y posgrado, a través de la dirección de más de 20 tesis; así como en la creación de alrededor de 20 artículos científicos y de divulgación. Ha sido reconocida por el Sistema Estatal de Investigadores en el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco (CCYTET); cuenta con el reconocimiento al Perfil Deseable (PRODEP); y fue distinguida como coordinadora del Consorcio de Instituciones de Investigación Marina del Golfo de México y del Caribe (CiiMar-GoMC). Su carrera profesional la ha desarrollado a lo largo de 38 años en el sector gubernamental, privado y educativo; y atesora más de 20 años de experiencia en el sector educativo. Como docente en la UJAT, particularmente en la DACBiol, ha mostrado su compromiso institucional siendo Coordinadora de Estudios Terminales y, posteriormente, directora de la misma División Académica. Actualmente es profesora-investigadora de Tiempo Completo y responsable del Laboratorio de Microbiología en el Centro de Investigación para la Conservación y Aprovechamiento de Recursos Tropicales (CICART) en la DACBiol-UJAT.

## Lilia María Gama Campillo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5417-9697>

Correo electrónico: [lillygama@yahoo.com](mailto:lillygama@yahoo.com)

Bióloga por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); Doctorado en Ciencias por la Universidad de California (campus Riverside, Estados Unidos de América). Sus áreas de estudio son la ecología del paisaje asociado a la vulnerabilidad al cambio climático y la dinámica costera; el diagnóstico e impacto territorial; la biología de la conservación; el impacto de la infraestructura en la biodiversidad y, la etnoecología vinculada a las relaciones socio-ambientales. Participa activamente en encuentros académicos a nivel regional, nacional e internacional. Forma parte del Sistema Nacional de Investigadores en el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT); el Sistema Estatal de Investigadores en el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco (CCYTET); cuenta con el reconocimiento al Perfil Deseable (PRODEP). Ha dirigido tesis de licenciatura, maestría y doctorado de diversas instituciones académicas. Cuenta con la publicación de 3 libros; 24 capítulos de libros, de los cuales 3 son internacionales; también ha participado como autor o coautor en más de 50 publicaciones en revistas científicas indexadas y arbitradas. Fue, alrededor de 15 años, editor en jefe de Kuxulkab', revista de divulgación de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Ha sido galardonada con el «Reconocimiento al Mérito Científico» por la UJAT; el «Premio Estatal de Ecología 'José Narciso Rovirosa'» por el Gobierno del Estado de Tabasco; el «Reconocimiento por la participación con más Proyectos FOMIX» del CCYTET;

y la «Medalla al Mérito por la Defensa del Medio Ambiente» entregado por la LXIII Legislatura del Honorable Congreso del Estado de Tabasco. Hoy es profesora-investigadora de Tiempo Completo y responsable del Laboratorio de Ecología del Paisaje y Cambio Global en el Centro de Investigación para la Conservación y Aprovechamiento de Recursos Tropicales (CICART) en la DACBiol-UJAT.

### **Gabriel Núñez Nogueira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9217-6959>

Correo electrónico: [gabriel.nunez@ujat.mx](mailto:gabriel.nunez@ujat.mx)

Biólogo por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); Doctor en investigaciones biológicas por la Universidad de Londres (Inglaterra). Miembro del Colegio de Biólogos de México; la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental de Norteamérica (SETAC); la Asociación Mesoamericana de Ecotoxicología y Química Ambiental (AMEQA), entre otras. Forma parte del Sistema Nacional de Investigadores en el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT); el Sistema Estatal de Investigadores en el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco (CCYTET). Fue jefe del Departamento de Zonificación Ecológica en la Dirección General de Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT-SEMARNAT); jefe de la Estación El Carmen, del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. Ha sido asesor del Grupo de Investigación de Salud Ambiental del Instituto Nacional de Salud Pública (INSP); miembro del Comité Técnico Estatal de Campeche para la atención al Cambio Climático; y asesor del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos. Fue profesor de la Escuela de Ciencias Biológicas del “Queen Mary College” (Londres); docente del posgrado e investigador del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. Asesor en temas relacionados con la contaminación de plaguicidas, hidrocarburos, metales

y acidificación, así como de biología, ecotoxicología y monitoreo ambiental. Evaluador CONACYT, árbitro de diversas revistas científicas nacionales e internacionales. Es autor de 21 artículos científicos y de 2 capítulos de libros arbitrados con temáticas enfocadas a biología, contaminación y toxicología de metales en organismos acuáticos; calidad del agua y reciclado de desechos orgánicos entre otros, ha dirigido tesis de licenciatura y posgrado. También ha participado en eventos de difusión y divulgación científica tanto en radio, televisión y prensa. Asesor de la Maestría en Recursos Costeros de la Universidad Autónoma del Carmen (Campeche); la Maestría en Ciencias Ambientales y del Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales, ambas en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT); donde actualmente es profesor-investigador de Tiempo Completo.

### **Fernando Rodríguez Quevedo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5862-0171>

Correo electrónico: [fernando.rodriguez@ujat.mx](mailto:fernando.rodriguez@ujat.mx)

Biólogo por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Ha cursado los diplomados en Educación ambiental para la sustentabilidad; Formación de editores de revistas científicas; Procesos editoriales para revistas científicas; Actualización de estándares y procesos editoriales y, en Diseño gráfico. Miembro del Grupo Especialista de Cocodrilos en la Comisión de Supervivencia de Especies de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza; formo parte del Padrón Estatal de Investigadores, así como del Sistema Estatal de Investigadores en el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco (CCYTET). Colaborador en diversos proyectos de investigación con financiamiento externo a la UJAT. Instructor en cursos y

talleres respecto a la búsqueda de fuentes de información; la creación de documentos académicos y las normas de citación bibliográfica; así como la divulgación de la ciencia. Tiene cooperación en la publicación de 2 libros; así como de 2 capítulos de libros; además de unas 13 creaciones y participaciones en artículos de divulgación, tanto nacionales como internacionales. En la actualidad es técnico-académico de Tiempo Completo, editor ejecutivo y gestor de Kuxulkab', revista de divulgación de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) en la UJAT.

Wilfrido Miguel Contreras Sánchez  
**Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación**

Pablo Marín Olán  
**Director de Difusión, Divulgación Científica y Tecnológica**

Francisco Cubas Jiménez  
**Jefe del Departamento Editorial de Publicaciones No Periódicas**