



CIATEJ, Más de diez años en investigación ambiental

Leonel Hernández Mena
Editor

TAM



Tecnología
Ambiental



**CIATEJ,
Más de diez años en
investigación ambiental**

“CIATEJ, más de diez años en Investigación Ambiental”.

Editor: MC. Leonel Hernández Mena.

Derechos Reservados ©. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ, A.C.). Unidad de Tecnología Ambiental. Normalistas 800, Col. Colinas de la Normal, Guadalajara, Jalisco-México. CP: 44270.

Primera (1a) edición. 10 de Diciembre de 2018.

ISBN: 978-607-98348-3-8.

Impresión en México, versión digital.

Dedicatoria

A la memoria de los entrañables colegas, compañeros y amigos,

Dr. Alberto López-López†
Dr. Gustavo Dávila Vázquez†
Dr. Jacob Gómez Romero†

PRÓLOGO

Las distintas actividades antropogénicas relacionadas con la transformación de los recursos naturales y la provisión de servicios, irremediablemente van de la mano de la generación de residuos o emisiones contaminantes que son liberados al agua, suelo y aire causando efectos de gran preocupación, como el cambio climático global y la disminución en las reservas de agua.

La presencia de estos contaminantes no sólo tiene un efecto negativo sobre el estado natural de los distintos ecosistemas que hay en el planeta, sino que además se les asocia como el origen de numerosos problemas de salud de las poblaciones humanas; situaciones poco deseables si se pretende que nuestras sociedades alcancen el desarrollo sostenible.

En el estado de Jalisco el estudio y la propuesta de soluciones a los problemas de contaminación han sido una tarea permanente en la Unidad de Tecnología Ambiental (UTAM) del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ, A.C.), desde su creación.

En muchos casos, la atención de los problemas de contaminación ha surgido de la detección de necesidades específicas de algunas empresas conscientes de que su actividad genera desechos contaminantes. Estas empresas aportan los recursos financieros para que en conjunto con el personal científico y tecnológico del CIATEJ se ejecuten los proyectos de investigación, desarrollo tecnológico y actividades de laboratorio y campo necesarias para la generación de soluciones que resulten en la reducción o eliminación de los agentes contaminantes o incluso, en algunos casos, en su aprovechamiento.

En otros casos, las demandas de investigación, desarrollo tecnológico o prestación de servicios, han surgido del sector público o de entidades no gubernamentales interesadas en conocer a mayor profundidad la problemática ambiental para diseñar políticas públicas o propuestas de solución o mitigación. En muchos casos, estas demandas han sido financiadas a través de los distintos fondos federales (Fondos Sectoriales) o estatales (Fondos Mixtos) que mediante convocatoria abierta invitan a todas las universidades e instituciones nacionales de investigación a proponer soluciones innovadoras. En este proceso la UTAM de CIATEJ ha sido altamente exitosa ya que se ha ganado un número considerable de apoyos para la realización de las propuestas correspondientes. De estas actividades de investigación y de la ejecución de los proyectos surge también la capacidad de incorporar a estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado en la realización de los proyectos, lo cual agrega un importante componente de formación de recursos humanos altamente especializados, que luego se incorporan a la actividad profesional con mejores herramientas que les permiten contribuir más eficazmente

a la solución de problemas de contaminación y la conservación del medio ambiente y la biodiversidad.

El desarrollo de los proyectos de investigación también va de la mano de la generación de artículos científicos que se publican en revistas de circulación nacional o internacional y que difunden los resultados a todos los niveles. De igual manera, los libros o capítulos de libros juegan un papel altamente relevante en la difusión y divulgación de los resultados más destacados de las investigaciones realizadas.

En otras ocasiones, los resultados de los proyectos y la información que se genera también permite la generación de patentes, o modelos de utilidad, instrumentos clave en el desarrollo económico y social del estado y del país, sobre todo cuando implican una transferencia tecnológica comercialmente exitosa, lo que constituye un elemento esencial en la generación de riqueza y bienestar social. La presente obra también proporciona cifras y detalles de las solicitudes de patente generadas, las patentes otorgadas y/o transferidas en los últimos años.

Lo antes descrito permitirá que los lectores puedan apreciar la evolución de la UTAM en un periodo de poco más de diez años de trabajo y esfuerzo. Por supuesto que los cambios en el personal científico, en las sub-líneas de investigación y hasta en la visión y enfoque de la solución de los problemas de contaminación ambiental han sido parte de esta evolución, respondiendo así a las actuales circunstancias y necesidades sociales y ambientales de la región.

Se ha migrado de ejecutar proyectos donde el interés central radicaba en un diagnóstico del estado de contaminación de un entorno específico, a los proyectos donde la parte medular no sólo es reducir la generación de contaminantes, sino también obtener un valor agregado de los mismos. Tal es el caso de la obtención de biogases, a partir del tratamiento de las aguas residuales y su carga orgánica, así como la obtención de biofertilizantes a partir de aguas residuales de rastros, o incluso la obtención de inóculos bacterianos a partir de diferentes residuos orgánicos.

Actualmente la UTAM cuenta con tres sub-líneas de investigación:

- Tratamiento de aguas residuales
- Manejo integral de residuos agroindustriales
- Evaluación de la calidad del agua

Además de estas sub-líneas de trabajo, históricamente se han desarrollado también otros estudios y proyectos de investigación en diferentes temáticas. Tal es el caso de los proyectos relacionados al otorgamiento de Denominaciones de Origen (DO), estudios sobre la calidad del aire, así como aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIGs). En el tema de Denominaciones de Origen la Unidad de Tecnología Ambiental ha sido responsable de los estudios técnicos justificativos para el otorgamiento de la DO de la Charanda, bebida derivada de la caña de

azúcar y que tiene como centro de la denominación al municipio de Uruapan-Michoacán, así como de los estudios para el otorgamiento de la DO de origen del Chile Yhualica. La información relacionada con estas temáticas podrá ser revisada con mayor detalle en esta obra.

Por todo lo anterior, me es muy grato presentar el libro que lleva por título "CIATEJ, más de diez años en Investigación Ambiental". Esta obra busca que los lectores comprendan el papel que nuestra institución ha desempeñado en la investigación de tópicos relacionados con la atención de problemas de contaminación ambiental, no sólo en el estado de Jalisco sino también en otras entidades del país. Al mismo tiempo, esperamos que algunos de los lectores despierten su interés en adentrarse en los temas abordados y busquen un primer contacto con los distintos grupos de científicos y tecnólogos, locales o nacionales, para incorporarse a esta relevante actividad de investigación, cuya finalidad es contribuir al desarrollo sostenible de nuestra sociedad.

Dr. Inocencio Higuera Ciapara
Director General del CIATEJ

CONTENIDO

Introducción 11

Capítulo I

**Breve Historia de la Unidad de Tecnología Ambiental (UTAM) del
CIATEJ 19**

Capítulo II

Semblanzas del personal de investigación de la UTAM 29

Dr. Alberto López López †

Dra. Silvia Maribel Contreras Ramos

Dr. José de Anda Sánchez

Dra. Elizabeth León Becerril

Dr. Jorge del Real Olvera

Dr. Gustavo Dávila Vázquez †

Dr. Ramiro Vallejo Rodríguez

M. en C. Juan Gallardo Valdez

M. en C. Leonel Hernández Mena

M. en C. José de Jesús Díaz Torres

Biol. Edgardo Villegas García

Dr. Oscar Aguilar Juárez

Dr. Luis Alberto Arellano García

Dr. Jesús Bernardino Velazquez Fernández

Dra. Cristina Torres Duarte

Capítulo III

Tratamiento de Aguas Residuales 47

Capítulo IV

Manejo Integral de Residuos Agroindustriales 71

Capítulo V

Evaluación de la Calidad del Agua 87

Capítulo VI

**Otros Estudios de Investigación y Servicios Tecnológicos
Especializados 113**

Capítulo VII

Producción Científica 141

DIRECTORIO

Dr. Inocencio Higuera Ciapara

Director General del CIATEJ

LCP. Citlalli Haide Alzaga Ramírez

Directora Administrativa

Dr. Ricardo Cosío Ramírez

Director de Investigación y Posgrado

Dra. Silvia Maribel Contreras Ramos

Directora de la Unidad de Tecnología Ambiental

Editor:

M. en C. Leonel Hernández Mena

Lista de autores:

Dr. Alberto López López †

Dra. Silvia Maribel Contreras Ramos

Dr. José de Anda Sánchez

Dra. Elizabeth León Becerril

Dr. Jorge del Real Olvera

Dr. Gustavo Dávila Vázquez †

Dr. Ramiro Vallejo Rodríguez

M. en C. Juan Gallardo Valdez

M. en C. Leonel Hernández Mena

M. en C. José de Jesús Díaz Torres

Biol. Edgardo Villegas García

Dr. Oscar Aguilar Juárez

Dr. Luis Alberto Arellano García

Dr. Jesús Bernardino Velazquez Fernández

Dra. Cristina Torres Duarte

Med. Jorge Hugo Salado Ponce

INTRODUCCIÓN



En la actualidad los problemas de tipo ambiental son una constante en las grandes ciudades del mundo, ello por la existencia de numerosas fuentes de contaminación. Dichos problemas y su influencia, incluso pueden ir más allá de los límites geográficos de las principales urbes, afectando a poblaciones más pequeñas ubicadas en los alrededores o incluso ocasionando repercusiones en asentamientos localizados a grandes distancias.

Estas fuentes de contaminación a su vez liberan al ambiente cientos o miles de toneladas de contaminantes al suelo, agua y aire. Situación que irremediablemente afecta el estado natural de los elementos biológicos que integran numerosos ecosistemas naturales. La contaminación también compromete la continuidad de los recursos naturales para las siguientes generaciones y afecta negativamente la salud de las poblaciones humanas, debido a distintos niveles y rutas de exposición a diversos contaminantes.

Un número importante de estas fuentes de contaminación son establecimientos productivos donde se llevan a cabo diversos procesos de transformación de materias primas, para la generación de productos y servicios que demandan las sociedades actuales. Lo anterior justifica su actividad y permanencia, además de aportar ingresos a las economías locales y nacionales, al ser fuentes de empleos, de crecimiento de la infraestructura, entre otros impactos positivos. No obstante, los hábitos de consumo y generación de residuos diarios, son también una de las principales fuentes de contaminación en las grandes urbes. Basta recordar los millones de toneladas de residuos sólidos urbanos generados en los grandes centros poblacionales, o los millones de metros cúbicos de aguas residuales, así como las miles de toneladas de contaminantes emitidos a la atmósfera, que producen diariamente las principales ciudades del país (entre ellas la Ciudad de México, la Zona Metropolitana de Guadalajara y la Zona Metropolitana de Monterrey).

Bajo este escenario, las actividades de investigación de los Centros Públicos de Investigación del CONACYT, y en concreto del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), son de relevancia en la atención a los problemas de contaminación. En este sentido el CIATEJ a través de su Unidad de Tecnología Ambiental (UTAM), con una trayectoria de más de diez años de investigación en temas de contaminación ambiental, ha jugado un papel fundamental no sólo en atender y dar solución a problemáticas de esta índole, sino también en generar un valor agregado en aquellos residuos que cuentan con

potencial para ser reincorporados a cadenas de valor, generando con ello un recurso económico y la reducción de su presencia en el ambiente.

Esta situación ha conducido al quehacer científico de la UTAM, siendo reconocido a nivel regional y nacional; además de satisfacer las necesidades de nuestros clientes mediante diversos proyectos y servicios, ha permitido generar conocimiento mediante la publicación de libros, artículos especializados en revistas nacionales e internacionales, conferencias, participación en congresos, formación de recursos humanos especializados, generación de patentes y transferencias de tecnología, colaboraciones con instituciones nacionales e internacionales de investigación, entre otros.

Este libro busca hacer accesible la información básica en torno al desarrollo de proyectos de investigación y de servicios especializados realizados por los investigadores de la UTAM. El libro hace énfasis en los últimos diez años de actividades y resultados, así como la trayectoria desde los inicios de esta Unidad de Investigación, y datos relevantes sobre el quehacer científico del 2018.

El lector encontrará en el Capítulo I de la presente obra, información de interés sobre algunos episodios trascendentes de la historia de la UTAM. Desde las situaciones sociales que dieron origen a realizar actividades como los estudios de impacto ambiental, hasta el cambio en lo que hoy son las sub-líneas oficiales de investigación.

El Capítulo II nos permitirá conocer a los investigadores que actualmente conforman la plantilla de científicos y tecnólogos que integran a la UTAM, incluyendo a aquellos investigadores que dejaron de estar con nosotros durante la realización de este libro. Cada uno de ellos plasma los aspectos más relevantes de su trayectoria y al mismo tiempo hacen énfasis en los temas de investigación de su dominio.

La descripción de los principales proyectos sobre la sub-línea de *Tratamiento de Aguas Residuales* se presenta en el Capítulo III. Es interesante el contenido en esta sección ya que es uno de los temas de investigación de mayor historia. Prueba de ello es el número mayor de patentes que esta sub-línea ha conseguido, sobre todo en los últimos años. Los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico tratan sobre el tratamiento de aguas residuales para el sector agroindustrial, utilizando procesos biológicos con producción de energía y procesos de oxidación avanzada para aguas residuales de baja biodegradabilidad. Los proyectos incluyen el diseño de sistemas de tratamiento y el modelado de estos sistemas para su optimización. Los principales proyectos que se han realizado en esta línea de investigación están asociados al desarrollo de procesos biológicos para el tratamiento de agua residuales de la industria cárnica (rastros, embutidoras y procesadoras de carne), de la destilación (tequileras, alcoholeras) y de lácteos.

Los objetivos de la sub-línea de *Tratamiento de Aguas Residuales* han ido evolucionando, desde proyectos que proponían el tratamiento adecuado para reducir los niveles de contaminación de las aguas residuales, hasta aquellos proyectos en los que se busca obtener un valor agregado como es la generación de metano e hidrógeno; que pueden ser usados como fuentes de energía alternas. Incluso la producción de biofertilizantes para el hacer más productivo el campo; para ello es necesario poner en práctica el conocimiento sobre las herramientas biotecnológicas adecuadas que permitan favorecer la generación de este tipo de subproductos con valor agregado.

El *Manejo Integral de Residuos Agroindustriales* es otra de las sub-líneas de la UTAM. La información sobre este tópico se encuentra en el Capítulo IV de esta obra. En él se abordan los principales hallazgos de cada uno de los proyectos ejecutados. Aquí podrá apreciarse como en años recientes se ha pasado de proyectos en donde uno de los principales objetivos era el diagnóstico de generación de residuos sólidos urbanos en diferentes localidades del país, a proyectos donde la meta fue la obtención de un consorcio bacteriano aislado de diferentes sustratos agroindustriales. Este consorcio bacteriano ofrece a las plantas una mayor disponibilidad de nutrientes, favorece la solubilización de fósforo lo que permite que su absorción por las raíces sea más eficiente, induce la producción de fitohormonas y sideróforos (compuestos que secuestran metales), entre otros. Los resultados de este proyecto han permitido la obtención de una patente y la transferencia de esta tecnología bajo el esquema de licenciamiento, así como el reconocimiento de la comunidad científica al ganar el Premio Jalisco en Ciencia, Tecnología e Innovación edición 2015-2016 en la categoría Innovación.

El Capítulo V es referente a la sub-línea de *Evaluación de la Calidad del Agua*. Los proyectos aquí incluidos pretenden diferentes objetivos, pero en esencia el punto de partida es la caracterización físico-química de los cuerpos de agua natural bajo estudio. Como ejemplos podemos mencionar los proyectos desarrollados en la presa Aguamilpa, Nayarit, y en el lago de Chapala, Jalisco.

En el caso de la presa Aguamilpa, la importancia del proyecto radicó en la generación de un modelo de calidad del agua en uno de los embalses tropicales más grandes de nuestro país y de los más relevantes a nivel internacional. Mientras que en el proyecto del lago de Chapala, la relevancia del estudio radica en que es la fuente principal de abastecimiento de agua para su potabilización, y posterior distribución en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) y su población. Se logró identificar que una de las problemáticas del lago es la presencia de contaminantes emergentes, entre ellos los compuestos disruptores endócrinos, los cuales pueden inducir diferentes y graves efectos negativos en la salud humana y a las especies acuáticas (por ejemplo la feminización de los machos de algunas especies de vertebrados).

Si bien es cierto que el quehacer científico y tecnológico de la UTAM gira en torno a las sub-líneas oficiales de investigación, a lo largo de su historia se han desarrollado proyectos de investigación en otras diferentes temáticas, estas son: *Denominaciones de Origen*, *Calidad del Aire* y *Sistemas de Información Geográfica (SIGs)*. En el Capítulo VI estos temas de investigación son abordados con mayor detalle. En el caso de los proyectos de *Denominación de Origen* se muestran aquellos en los que la UTAM ha participado en la elaboración de los estudios requeridos por el IMPI (Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial) para solicitar la ampliación de *Denominación de Origen*, principalmente en el caso del Mezcal, o bien para hacer los estudios que respaldaran las solicitudes de *Denominación de Origen*, como con la Charanda y el Chile Yahuahualica.

Sobre la temática de *Calidad del Aire*, se hace una descripción de los proyectos sobre este tópico, los cuales se han enfocado a la caracterización química de los contaminantes particulados (PM_{2.5}, principalmente). Componentes químicos inorgánicos como aniones y cationes, metales pesados y elementos tóxicos, así como el contenido de carbono negro. En años recientes se realizaron proyectos sobre el estudio de partículas más pequeñas (PM_{1.0}) y su componente orgánica, tal es el caso de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) y quinonas. Hallazgos sobre las fuentes de emisión y procesos químicos de la formación de estos contaminantes también son mencionados.

En el caso de los proyectos sobre los *Sistemas de Información Geográfica (SIGs)*, se describen las aplicaciones de esta herramienta en diferentes tópicos ambientales, por ejemplo uno de ellos fue estimar la radiación solar global durante intervalos de cielo bajo condiciones despejadas (temporada de estiaje). Ello permitió cuantificar la irradiación potencial que puede incidir sobre el área de la ZMG. Además, es importante mencionar que esta herramienta permite sintetizar una gran cantidad de información de numerosas variables de campo, siempre que ellas cuenten con una componente espacial. Ello permite la elaboración de cartografía donde incluso es posible aplicar modelos de predicción y estimar probables valores de los datos referidos, sin contar con información de campo. Esto último confirma la importancia de esta herramienta y justifica su empleo en el apoyo de otros proyectos ambientales.

Este mismo capítulo menciona los *Servicios Tecnológicos Especializados* que la UTAM brinda a diferentes sectores productivos, o que puede aplicar en las diversas actividades de los proyectos que desarrolla. Estos servicios especializados y demás actividades de investigación y desarrollo serían imposibles de realizar, sin el apoyo de equipamiento especializado. El cual ha sido adquirido principalmente con recursos de los numerosos proyectos de investigación ganados por la UTAM y CIATEJ, tanto de fondos públicos como de recursos privados.

Por último, el Capítulo VII presenta un resumen de las cifras de indicadores de *Producción Científica* de la UTAM en el periodo 2007-2017. Se mencionan los diferentes tipos de publicaciones generados producto de los resultados de los proyectos de investigación (libros, artículos, capítulos de libros y memorias en extenso), las cifras del número de proyectos de investigación (en curso y nuevos), datos de los recursos humanos formados (Licenciatura, Maestría y Doctorado), así como cifras de las patentes otorgadas, producto de la actividad científica y de innovación.

De esta forma, la información contenida en este libro busca no sólo dar a conocer el quehacer científico y tecnológico de la UTAM del CIATEJ, sino también se pretende despertar el interés de los lectores en estas temáticas de investigación, las cuales son esenciales para contrarrestar los impactos negativos que como sociedades le ocasionamos al ambiente.

CAPÍTULO I

BREVE HISTORIA DE LA UNIDAD DE TECNOLOGÍA AMBIENTAL (UTAM) DEL CIATEJ



El CIATEJ fue fundado en 1976 por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) en conjunto con los esfuerzos de algunos empresarios jaliscienses, con la intención de apoyar el crecimiento de la industria local con apoyo técnico de capacitación, y desarrollo tecnológico a las industrias del calzado, del vestido y de la joyería.

A partir de 1982, con el Ing. Ricardo Michael como Director General, las actividades del CIATEJ se reorientaron a otros sectores productivos. Atendiendo demandas tecnológicas y de servicios de la industria agroalimentaria local y regional, e incluso nacional. Conforme el CIATEJ fue creciendo y extendiendo su presencia en el país, se reestructuró en cuatro divisiones: Ingeniería, Biotecnología, Planeación y Gestión, y Documentación e Información, además de establecerse dos direcciones, una General y una Administrativa. En conjunto, los seis titulares de cada dirección formarían el Consejo Interno de Coordinación.



Figura 1.1. Fachada del CIATEJ en sus inicios.

En 1986, las actividades del CIATEJ crecieron aún más y se fueron diversificando, por lo que las 4 divisiones se convirtieron en 6 áreas de trabajo: Obtención de Enzimas, Aromas y Saborizantes, Productos Químicos, Productos Perecederos, Modificaciones Genéticas y Diseños de Equipos; todo ello teniendo en común la atención a los sectores agroalimentario y biotecnológico.

En el año 1992, el CIATEJ se incorpora al Sistema de Centros de Investigación SEP-CONACYT, logrando con ello un carácter de Institución Federal y de alcance nacional. En ese año el Ing. Juan Andrés Olmos Soria se encontraba al frente del Centro. La Biotecnología e Ingeniería seguían siendo las dos principales áreas de investigación. El área de Biotecnología contaba con cinco líneas de investigación, orientadas al mejoramiento de procesos y productos de la industria alimentaria y agrícola. Entre estas líneas se encontraba la de *Procesos fermentativos para la producción de alimentos y bebidas*. Esta línea contemplaba el tratamiento de efluentes residuales, principalmente del proceso de destilación, a cargo de la Ing. Josefina Linerio Gil. Otros servicios tecnológicos adicionales ofrecidos por el área de Biotecnología eran calidad de materias primas y determinación de vida de anaquel, entre otros. Por su parte, en el área de Ingeniería existían dos líneas de investigación, transformación y conservación de alimentos y bebidas para consumo humano, y desarrollo y aplicación de aditivos e ingredientes alimentarios. Además, se

ofertaban servicios tecnológicos como diagnósticos de procesos, ingeniería de proyectos y diseño gráfico comercial de productos, entre otros.

En este mismo año (1992), dada la relevancia social que tuvieron las explosiones del 22 de abril en el barrio céntrico de Analco y colonias aledañas en Guadalajara, se abrieron los servicios de estudios de impacto ambiental y análisis de riesgo ambiental a diferentes sectores industriales por parte del CIATEJ. Algunos de los estudios de impacto ambiental fueron realizados en el área de Biotecnología, en coordinación con el personal de Ingeniería. Al frente de este grupo de trabajo denominado de Protección Ambiental quedaría el Dr. Homeópata Jorge Hugo Salado Ponce, actualmente responsable del área médica del CIATEJ, y quien además había sido capacitado en estudios de esta naturaleza.

En 1996, se establece el primer convenio de vinculación con la UNAM en materia de tratamiento de efluentes residuales. Gracias a ello la UNAM transfiere al CIATEJ un "Reactor de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales por vía anaerobia". Este se utilizó y validó para el tratamiento de vinazas tequileras de la empresa "Destiladora González y González".

Entre 1996 y 1997, y bajo la Dirección General del Dr. Luis Edmundo Garrido Sánchez, CIATEJ, se reestructuró y se instauraron dos grandes áreas de investigación: Biotecnología e Ingeniería, a su vez con 10 divisiones de investigación.

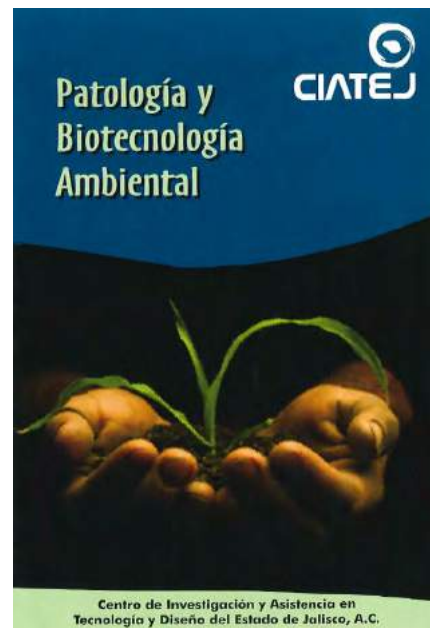


Figura 1.2. Imagen recuperada de un tríptico de la División de Patología Ambiental (DIPABIA) bajo la dirección del Dr. Alfredo I. Fera y Velasco, y después por el Med. Jorge Hugo Salado Ponce.

En esta modificación estructural, el área de Protección Ambiental se transfirió a la División de Patología y Biotecnología Ambiental (DIPABIA), esta última a cargo del Dr. Alfredo Ignacio Fera y Velasco (q.e.p.d.). La DIPABIA contaba con siete investigadores de diferentes disciplinas y grados académicos, dentro de ellos, la Ing. Linerio Gil con experiencia en el tratamiento de efluentes residuales del proceso de destilación y de vinazas; y quien había participado en la vinculación con la UNAM y la empresa "Destiladora González y González". Además, también se incorporó en este grupo de

trabajo el Técnico Laboratorista Abel Guzmán Carillo del Laboratorio de Servicios Analíticos, realizando análisis de corrosividad, reactividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infecciosos, mejor conocidos como análisis CRETIB.

Para los años 1998-1999, el CIATEJ participó y ganó la aprobación para algunos proyectos de investigación en el marco de la Convocatoria Sistema de Investigación Ignacio Zaragoza (SIMORELOS). Uno de estos proyectos fue el denominado "Trasferencia de un proceso tecnológico para el tratamiento de los efluentes de la industria tequilera", el cual el CIATEJ desarrolló en colaboración con la UNAM.

Entre los años 1997 a 2000, con el Dr. Feria y Velasco al frente de la DIPABIA, las actividades se orientaron a la asesoría y estudios en materia de impacto ambiental, compostaje de residuos sólidos, además de prestar servicios de análisis CRETIB y toxicológicos.

Concluida esta etapa la DIPABIA continuó con sus actividades de estudios y servicios, y durante el periodo de 2001 a 2006 estuvo bajo la Dirección del Med. Jorge Hugo Salado Ponce.

A finales del 2004 y principios del 2005, con el Dr. Gabriel Siade Barquet (q.e.p.d.) como

Director General, CIATEJ tuvo una reestructuración importante en su planta laboral. Como resultado de esta nueva estrategia de trabajo y organización, se incorporó un número importante de investigadores con grado de Doctor en las diferentes áreas, y se logró una mejor definición de las actividades de investigación.

Las divisiones de Investigación se convirtieron en Unidades de Investigación: Biotecnología Industrial, Biotecnología Médica Farmacéutica, Biotecnología Vegetal, Tecnología Alimentaria y la Unidad de Servicios Analíticos y Metroológicos (USAM). La DIPABIA se transformó en la actual Unidad de Tecnología Ambiental (UTAM).

En el año 2006, el Mtro. Jorge de la Barrera Fraire, químico de profesión y con maestría en contaminación ambiental, con más de 25 años de experiencia queda al frente de la Unidad de Tecnología Ambiental. Él tuvo a su cargo realizar un diagnóstico y reestructuración de la UTAM para propiciar un mejor desempeño del grupo de trabajo. Derivado de estas actividades se lleva a cabo la reubicación de algunos de sus investigadores a la USAM y a Biotecnología Médica Farmacéutica, mientras que dos compañeros dejaron de laborar en la UTAM. Además, se plantea por primera vez la idea que la UTAM dejara de hacer servicios y estudios de impacto ambiental para orientarse a realizar proyectos de investigación y desarrollo (I+D).

Durante este año se desarrollaron dos proyectos de I+D en materia de tratamiento de aguas y cuencas hidrológicas, y un proyecto sobre la ampliación de la Denominación de Origen del Mezcal.

En este mismo año, 2006, se lanza el proyecto interno de Calidad del Aire, apoyado en un inicio por la Fundación Mario Molina, concretándose la remodelación de un edificio que llevaría su nombre y que actualmente es la sede de la UTAM. El objetivo principal de este proyecto era desarrollar actividades de investigación en contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana de Guadalajara y apoyar las actividades referentes a análisis por cromatografía. A este proyecto se integraron varios investigadores, todos ellos con Doctorado o Maestría, con conocimientos en los temas en cuestión y quienes estaban albergados en dicho edificio, lugar donde además se concentraron los equipos y las actividades de cromatografía de la USAM. En el 2007, por recomendación de la Dirección General, el Dr. Ricardo Cosío (Director Adjunto de Investigación) analizó la posibilidad de integrar a los cinco investigadores del proyecto Calidad del Aire con la plantilla de investigadores de la Unidad de Tecnología Ambiental y parte del personal técnico de la USAM, sin embargo esta iniciativa no se concretó en ese momento.

A partir del 2008, el Dr. Alberto López López (q.e.p.d.) con formación académica en ingeniería química y de ingeniería de procesos en el ambiente y con cinco años de experiencia en investigación y desarrollo, queda al frente de la UTAM. De la Dirección General del CIATEJ recibe la instrucción de hacer de la UTAM un grupo de investigación apegado a las necesidades de desarrollo tecnológico en materia de tratamiento y aprovechamiento de agua y residuos agroindustriales.



Figura 1.3. Marzo de 2006. Inauguración del edificio Unidad de Investigación Dr. Mario Molina Pasquel, Premio Nobel de Química 1995, que albergaría años más tarde a la Unidad de Tecnología Ambiental.

Bajo esta directriz, el Dr. López se plantea tres objetivos fundamentales: fortalecer el grupo de trabajo; hacer efectiva la realización de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, e impulsar la formación de recursos humanos de posgrado en temas afines a la UTAM. Teniendo el diagnóstico y los objetivos

trazados, se definieron tres líneas de investigación: 1) *Tratamiento de Aguas Residuales*, 2) *Manejo Integral de Residuos Agroindustriales* y 3) *Manejo de Cuencas Hidrológicas*, posteriormente llamada *Evaluación de la Calidad del Agua*.

Durante esta administración se incorporaron tres investigadores con grado de Doctor para fortalecer las líneas de investigación, así como dos contrataciones más. Así, a finales de este año la UTAM contaba con 8 investigadores y con una infraestructura mínima, con estas condiciones el equipo de la UTAM logra tres proyectos de investigación en las temáticas previamente definidas, así como la incorporación de estudiantes de posgrado que apoyarían en el desarrollo de dichos proyectos.

En el año 2009, el Dr. José de Anda Sánchez, asume la Dirección General del CIATEJ y ratifica al Dr. López López como director de la UTAM, lo que permite continuar fortaleciendo el grupo en cuanto a proyectos de investigación y de desarrollo tecnológico se refiere, así como seguir con la formación de recursos humanos. Adicionalmente se solicita hacer efectiva y fortalecer la vinculación con el sector privado.

En 2010 y después de un diagnóstico del grupo de trabajo de cinco investigadores en torno al proyecto Calidad del Aire, este desaparece y el

personal es reubicado, dos de ellos en la UTAM, uno más a USAM y dos dejarían de laborar en CIATEJ. De 2009 a 2014, la UTAM pudo fortalecerse en cuanto a proyectos de investigación y formación de recursos humanos; adicionalmente, se tuvo un incremento sustantivo en las actividades de vinculación con el sector privado a través de proyectos de la Convocatoria del Programa de Estímulos a la Innovación (PEI del CONACYT).

En el año 2015, con el Dr. Inocencio Higuera Ciapara en la Dirección General del CIATEJ, se impulsan y se fortalecen las diferentes áreas de investigación ya existentes, en cuanto a espacio e infraestructura de investigación y desarrollo tecnológico se refiere. Con ello, se vuelve más importante el enfoque de la biotecnología ambiental en las actividades de la UTAM. En ese año se contaba con la formación de más 20 estudiantes de posgrado y licenciatura, los cuales apoyaron sustancialmente las actividades de investigación. Se mantenían vigentes las tres líneas de investigación ya referidas, y además se logró un incremento gradual y sustancial de la infraestructura para actividades de investigación con enfoque de biotecnología ambiental.

Durante esta gestión, en marzo de 2017 y en el desempeño de sus actividades laborales, fallecieron el Dr. Alberto López López (q.e.p.d.), el Dr. Gustavo Dávila Vázquez (q.e.p.d.) y el Dr. Jacob Gómez Romero (q.e.p.d.). Ante esta

contingencia, la Dirección General del CIATEJ nombró a la Dra. Silvia Maribel Contreras Ramos como Directora de la UTAM. La Dra. Contreras continuó con el plan de trabajo establecido para 2017, y el logro de las metas institucionales comprometidas a inicio de ese año. Cabe mencionar que durante dicho año se concretó la incorporación de tres nuevos investigadores a la UTAM, gracias al Programa de Cátedras del CONACYT.

Con lo anterior, la UTAM refuerza y amplía las temáticas de investigación, busca la consolidación como grupo de investigación con capacidad para conducir proyectos de impacto regional y nacional para resolver problemáticas de carácter ambiental. Esto también gracias a las colaboraciones con otras Unidades de investigación del CIATEJ y el establecimiento de redes de colaboración con Universidades, Instituciones y otros Centros de Investigación a nivel nacional o internacional.

Así, la UTAM mantiene sus esfuerzos en la generación y aplicación de la ciencia y la tecnología para el desarrollo del Estado y del país a través de la formación de recursos humanos de alto nivel, la vinculación con el sector productivo y las actividades de investigación. Estas últimas gracias al trabajo multi e interdisciplinario y en equipo entre estudiantes, administrativos, investigadores y tecnólogos, y también gracias a la experiencia de

sus integrantes en estudios de impacto ambiental, denominación de origen, tratamiento de aguas residuales, análisis de la calidad de agua, remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, plaguicidas y disruptores endócrinos, el estudio y desarrollo de materiales y nanomateriales con fines ambientales, tratamiento biológico de emisiones gaseosas, estudio de enzimas de biotransformación, producción de biogás, producción de biofertilizantes, por mencionar algunos y que serán profundizados en los apartados del presente libro. Todo ello, impactando primordialmente en el área ambiental, pero también en la salud humana y las diferentes ramas de la industria.



CAPÍTULO II

SEMBLANZAS DEL PERSONAL DE INVESTIGACIÓN DE LA UTAM



Dr. Alberto López López[†]

Originario de la ciudad de Puebla, el Dr. Alberto López López egresó de la BUAP como Ingeniero Químico, Maestro en Ingeniería Ambiental por la UNAM; Maestro y Doctor por el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Toulouse, Francia (INSA-T). Miembro del S.N.I.-II y Miembro activo de la Academia Mexicana de Ciencias en la sección de Ingeniería. Profesor-Investigador en la BUAP e ITESM. Investigador Titular C en el CIATEJ desde el 2005 y Director de la Unidad de Tecnología Ambiental del CIATEJ desde 2008. Especialista en procesos avanzados de oxidación para el tratamiento de agua residual agro-industrial y agua con presencia de contaminantes emergentes.

Desarrolló 16 proyectos de I+D+i en materia de tratamiento de aguas residuales industriales, y colaborador de otro número similar de proyectos. Publicó 35 artículos en revistas indexadas en ISI-JCR. Impartió más de 40 conferencias en congresos nacionales e internacionales. Autor de 3 libros; 5 capítulos de libros y más de 40 memorias *in extenso*.

El Dr. López graduó 3 estudiantes de Doctorado, 14 de Maestría y 6 a nivel Licenciatura, en el 2017 tenía en formación 3 estudiantes de Doctorado y 4 de Maestría. Líder y formador de grupos de investigación en el área de tratamiento y evaluación de la calidad del agua.

Autor de 5 patentes; resaltando la patente "Sistema y proceso modular para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas" con título de Patente No. 342095, que ha sido transferida 2 veces bajo el esquema de licenciamiento. Las patentes del "Proceso para degradar compuestos recalcitrantes presentes en el agua" con título de patente No. 315205, y "Planta y proceso de tratamiento para aguas residuales de rastro" con título de patente: No. 340151, así como sus desarrollos tecnológicos y asesorías han contribuido e incidido en el sector privado y público brindando soluciones efectivas a los problemas de tratamiento y contaminación de agua, generando beneficios económicos y sociales de relevancia.



Dr. Alberto López López.[†]

El Dr. López recibió menciones honoríficas en la Licenciatura, Maestría y Doctorado derivado de la calidad de sus trabajos de tesis. Su trayectoria académica y científica, lo hizo acreedor al Premio Ciudad de México: Heberto Castillo Martínez, edición 2012. 2º lugar en el Premio Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Jal. 2013. Miembro Honorífico de la Comisión Dictaminadora Externa del CIATEC-CONACYT desde el 2012. Profesor Invitado por la Universidad Politécnica de Valencia, a partir del 2012. Miembro de diferentes comisiones del CONACYT, programas PNPC, Programa FONCICYT, entre otras.

Dra. Silvia Maribel Contreras Ramos

Cursó sus estudios de Licenciatura en Ingeniería Bioquímica en el *Instituto Tecnológico de Acapulco*, (1994-1999). Es Maestra en Ciencias en Biotecnología y Bioingeniería Ambiental por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV), egresada en 2002. El mismo Centro le otorgó el grado de Doctora en Biotecnología y Bioingeniería Ambiental en 2006, con especialización en procesos de composteo y vermicomposteo, utilizando residuos agroindustriales para la producción de abonos orgánicos y para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos.

Realizó un posdoctorado en el Instituto de Ecología de la UNAM (2007-2009) estudiando procesos del suelo y sus interacciones entre malezas, el cultivo de maíz y micorrizas.

La Dra. Contreras labora en *CIATEJ* desde 2009 adscrita a la Unidad de Tecnología Ambiental en la línea de investigación de Manejo de residuos sólidos agroindustriales.

Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores S.N.I. nivel II (2019-2023). Ha publicado 31 artículos en revistas internacionales indizadas y 4 capítulos en libros, y presentado trabajos en 30 Congresos nacionales e internacionales. Sus artículos científicos desde 2002 han sido citados en más de 600 ocasiones en revistas científicas y libros sin autocitas (de acuerdo a SCOPUS) teniendo un índice $h=15$. Actualmente dirige 1 tesis de doctorado, 1 de Maestría, 3 de Licenciatura y ha graduado a 1 estudiante de Doctorado, 5 de Maestría y 10 de Licenciatura. Tiene una solicitud de patente a nivel nacional e internacional (PCT) en diferentes países de un biofertilizante para incrementar el rendimiento de cultivos.

En 2016, recibió el Premio Estatal de Innovación, Ciencia y Tecnología de Jalisco 2015-2016 en la categoría "Innovación". Con el proyecto: Desarrollo tecnológico para la producción de un inoculante (consorcio) de bacterias para la agricultura.



Dra. Silvia Maribel Contreras Ramos.

Dirige un equipo multidisciplinario enfocado al desarrollo de biofertilizantes e inóculos bacterianos para la remediación de suelos o como insumos agrícolas para aumentar el rendimiento en cultivos, para degradación de diferentes contaminantes y diferentes aplicaciones.

Sus líneas de investigación están orientadas hacia:

La biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando lombrices de suelo, plantas y bacterias degradadoras aisladas de suelos contaminados.

Manejo y aprovechamiento de residuos sólidos agroindustriales para generar productos con valor agregado o su utilización para la remediación de suelos. Y para generar consorcios microbianos de interés biotecnológico para diferentes aplicaciones ambientales.

La Dra. Contreras actualmente es la Directora de la Unidad de Tecnología Ambiental del *CIATEJ*. Y dirige y colabora en proyectos de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (I+D+i) multidisciplinarios con fuentes de financiamiento públicos y con la iniciativa privada.

Dr. José de Anda Sánchez

Originario de Ciudad Guzmán, Jalisco, y nacido el 19 de abril de 1960. Cuenta con formación en Dirección de Empresas en el Instituto Panamericano de Alta Dirección de Empresas (IPADE, 2004); Doctorado en Ciencias de la Tierra (1995-1998, Instituto de Geofísica de la UNAM, México). Especialidad en Ingeniería de Reacciones Químicas por la Universidad Friedrich-Alexander, (1988-1989, Erlangen-Nürnberg, Alemania). Maestría en Ingeniería de Procesos por la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (1984-1987, México, D.F.). Ingeniero Químico por la Universidad de Guadalajara (1977-1982, Guadalajara, Jalisco, México). Investigador Nacional Nivel I.

Experiencia profesional: Investigador de la Unidad de Tecnología Ambiental (CIATEJ, 2016-actual). Coordinador de la Unidad de Inteligencia Competitiva del Centro para la Gestión de la Innovación y la Tecnología del ITESO (2015-2016). Investigador de la Unidad de Tecnología Ambiental (CIATEJ, 2014-2015). Director General del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del estado de Jalisco, A. C. (CIATEJ, 2009-2014). Investigador Titular en la Unidad de Tecnología Ambiental (CIATEJ, 2005-2009). Director Adjunto de Productos y Servicios Tecnológicos, (CIATEJ, 2003-2005). Jefe de la División de Innovación y Diseño de Equipos Agroalimentarios, (CIATEJ, 2001-2003). Ingeniero Titular, (CIATEJ, desde Marzo de 1994 - 2001). Ingeniero de Tecnología y Desarrollo en Celulosa y Derivados S.A. (1993). Ingeniero de Procesos, Bayer de México (1991-1992). Ingeniero de Proyectos en Ciba-Geigy Mexicana (1989-1991).

Temas de investigación: limnología, hidrología superficial, métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales, manejo sustentable de recursos hídricos y agricultura hidropónica vertical.



Dr. José de Anda Sánchez.

Estancias de investigación: Technion - Instituto Tecnológico de Israel (Israel, 2016), Universidad de Toronto (Canadá, 2006), Universidad Brigham Young (Utah, USA, 2005); Instituto de Hidrología y Protección de Aguas en la Universidad Técnica Braunschweig (Alemania, 1997, 1998); Ministerio de Medio Ambiente de Canadá, (Toronto, Canadá, 1996, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006); Instituto de Química Técnica de la Universidad Friedrich-Alexander (Erlangen-Nürnberg, Alemania, 1987-1989).

Publicaciones, congresos y distinciones: 36 publicaciones con arbitraje internacional, 19 capítulos de libro, 1 Atlas Ambiental, 2 libros, 53 conferencias nacionales e internacionales, 15 subsidios internacionales.

Estudiantes graduados: 9 de Licenciatura, 10 de Maestría, 6 de Doctorado.

Dominio de idiomas: inglés y alemán.

Dra. Elizabeth León Becerril

La Dra. Elizabeth León Becerril es actualmente Investigadora Titular B en la Unidad de Tecnología Ambiental del CIATEJ, desarrollando actividades de investigación sobre modelado de procesos químicos, tratamiento de aguas residuales con generación de energía, y procesos para aprovechamiento de material lignocelulósico para su uso en la generación de energía renovable. La Dra. León Becerril es egresada de la Licenciatura y Maestría en Ingeniería Química de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México y es Doctora en Ingeniería de Procesos y del Ambiente por el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas-Toulouse, Francia.

Cuenta con experiencia profesional como investigadora desempeñando actividades de docencia e investigación por 16 años: adscrita desde Mayo 2009 en el CIATEJ; y como Profesor-Investigador impartiendo cátedra a nivel Licenciatura y Posgrado en la Universidad Autónoma de Yucatán y en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Realizó estancias posdoctorales en el área de Mecánica Aplicada en el Instituto Francés del Petróleo (2001-2002), y en el Instituto Mexicano del Petróleo (2003-2005) en el Programa Estratégico de Investigación en Tratamiento de Crudo Maya.

La Dra. León ha desarrollado como responsable técnico 8 proyectos, 5 de investigación científica y 3 de desarrollo tecnológico e innovación con empresas privadas; además de colaborar en otros 5 proyectos. Los proyectos han sido de tipo multidisciplinario y han contribuido al campo de conocimiento, aportando soluciones efectivas en materia de tratamiento de aguas residuales de empresas privadas del sector agroalimentario.

Autora y co-autora de 3 solicitudes de patente como "Pre-tratamiento de residuos lignocelulósicos con ozono para incrementar el rendimiento de la sacarificación de azúcares reductores", "Método para obtener un consorcio microbiano para producir hidrógeno e

hidrolizados a partir de sustratos complejos" y "Consortio microbiano para producir hidrógeno e hidrolizados a partir de sustratos complejos".



Dra. Elizabeth León Becerril.

Ha graduado 5 estudiantes de Maestría y 5 de Licenciatura, además de tener en proceso 4 estudiantes de Maestría y 2 de Doctorado. Es autora y coautora de 25 artículos publicados en revistas indexadas. Actualmente, es miembro del Sistema Nacional de Investigadores con Nivel I.

Sus líneas de investigación son:

- Diseño de procesos para el tratamiento de agua residual con producción de biogás como fuente de energía.
- Procesos para aprovechamiento de material lignocelulósico en energía renovables.
- Modelado y simulación de reactores de procesos químicos y biológicos.

Dr. Jorge del Real Olvera

El Dr. del Real es originario de Xalapa, Veracruz, con formación en Ingeniería Química por parte de la Universidad Veracruzana. Obtuvo su grado de Maestría en Ingeniería Química por la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa en 1997 y el Doctorado en Ciencias Ambientales por parte de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en 2007. Realizó una estancia posdoctoral en el año 2009 en el departamento de electroquímica ambiental de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa y actualmente es Investigador Titular en el área de Tecnología Ambiental del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. con sede en la ciudad de Guadalajara, Jal.

Desde hace años, sus líneas de investigación están enfocadas al estudio y diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas mediante técnicas electroquímicas y biológicas; además del análisis y monitoreo de las emisiones a la atmósfera generadas en procesos industriales. Actualmente realiza proyectos de investigación I+D+i y servicios técnicos a empresas en diferentes áreas de su especialidad. Ha tenido bajo su responsabilidad la realización de 3 proyectos de investigación con empresas y el sector gubernamental y ha sido invitado a colaborar en 7 proyectos diferentes.

Galardonado en 3 ocasiones con el 1^{er} lugar en la categoría de Profesionales de la Ingeniería en los premios convocados por el Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal; recibió la medalla al mérito universitario por los logros obtenidos en sus estudios a nivel maestría. Cuenta con más de 19 años de experiencia en docencia en diferentes universidades a nivel posgrado, tales como la Universidad Veracruzana, la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y la Universidad de Guanajuato. En la actualidad es profesor en los posgrados de Innovación Biotecnológica y en el Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT) del CIATEJ. Es autor de cuatro libros especializados en diversas áreas de

Ingeniería química y ambiental, además cuenta con cinco capítulos de libros sobre distintas temáticas ambientales.



Dr. Jorge del Real Olvera.

Ha participado con diversos grupos de investigación en la elaboración de más de 18 publicaciones en diversas revistas especializadas y cuenta con más de 42 publicaciones científicas de divulgación y dictado 9 conferencias magistrales en diversos eventos académicos. Ha participado en más de 90 ocasiones ofreciendo conferencias en diversos congresos especializados en las áreas de Ingeniería Química e Ingeniería Ambiental. Fue invitado por Radio UV a participar en un programa radial, donde se discutían diversos aspectos del cuidado y cultura ambiental. Como parte de su trayectoria en formación de recursos humanos, el Dr. del Real ha sido director de tesis de un trabajo a nivel Doctorado, ocho trabajos a nivel Maestría y en más de 55 trabajos a nivel Licenciatura.

Dr. Gustavo Dávila Vázquez[†]

Originario de la Ciudad de Colima, realizó sus estudios de Licenciatura en Ingeniería bioquímica en el Instituto Tecnológico de Colima, egresando en 2001. Maestro en Ciencias en Procesos Biotecnológicos por la Universidad de Guadalajara y Doctor en Ciencias Aplicadas, opción Ciencias Ambientales, egresado en 2008 del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT). El Dr. Dávila laboró en CIATEJ desde 2009 adscrito a la Dirección de Tecnología Ambiental con el nombramiento de Investigador Titular A.

Autor y co-autor de 16 artículos en revistas internacionales arbitradas, con trabajos (autor y co-autor) en más de 50 Congresos nacionales e internacionales y sus artículos científicos desde 2005 han sido citados en más de 360 ocasiones en revistas científicas y libros (Índice h=7). Co-inventor de la solicitud de patente "Biofertilizante para aumentar el rendimiento de cultivos". Dirigió 3 proyectos de investigación y desarrollo tecnológico e innovación y colaborador en 6 proyectos más, mayormente orientados al diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales, producción de biocombustibles gaseosos y a estudios de calidad del agua.

En 2006 recibió el Premio Dr. Sergio Sánchez Esquivel al mejor protocolo de doctorado con el trabajo titulado: "Producción de biohidrógeno por vía fermentativa usando cultivos mixtos y sustratos modelo", premio otorgado por la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, en conjunto con las empresas HyClone y Química Valaner. En 2016 recibió el Premio Estatal de Innovación, Ciencia y Tecnología Jalisco 2015-2016 en la Categoría Innovación, otorgado por el Gobierno del Estado de Jalisco a través de su Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología.

Tituló a 3 estudiantes de Licenciatura, 1 de Maestría y 2 de Doctorado (co-dirección), en el

2017 dirigía cuatro tesis de Maestría y una de Doctorado.



Dr. Gustavo Dávila Vázquez.[†]

Temas de investigación:

1. Producción de bioenergía (hidrógeno y biogás) a partir de aguas residuales ó subproductos orgánicos, mediante procesos fermentativos.
2. Biotransformación de contaminantes en suelo y agua.
3. Estudios de calidad del agua.

Información adicional (producción científica):

Researchgate:

https://www.researchgate.net/profile/Gustavo_Davila-Vazquez

Google

Scholar:

<https://scholar.google.com/citations?user=dxpVjZAAAAAJ&hl=en>

Dr. Ramiro Vallejo Rodriguez

El Dr. Vallejo es Ingeniero Químico y Maestro en Ingeniería Química (Ingeniería de Proyectos) por la BUAP y Doctor en Ciencia y Tecnología por el Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología sede CIATEJ (Jalisco). Actualmente es Investigador Titular A en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. y pertenece al S.N.I. en el nivel C. Es especialista en la detección, análisis y degradación de compuestos emergentes y disruptores endócrinos en matrices acuosas ambientales.

Además, el Dr. Vallejo tiene experiencia en las áreas de Ingeniería Ambiental y Química Ambiental. Ha participado en proyectos del FOMIX-CONACYT del Estado de Jalisco y del Estado de Guanajuato, así como en proyectos de investigación y desarrollo para la industria y en proyectos de investigación post-doctoral.

Es autor y coautor de 14 artículos en revistas internacionales indizadas y arbitradas, 5 capítulos de libros en editoriales tales como UNAM, CRC y Springer, y 8 memorias en extenso. Ha participado en 9 conferencias nacionales e internacionales, dos de ellas por invitación. El Dr. Ramiro Vallejo ha participado como asesor en la formación de 2 estudiantes de Maestría y uno de Licenciatura. Actualmente tiene un estudiante de Doctorado formado como director y otro en proceso de formación, 1 estudiante de Maestría como director y un estudiante de Maestría como co-director.

El Dr. Vallejo obtuvo la distinción de la beca CONACYT para la realización de una Estancia Postdoctoral en el Centro de investigaciones Químicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos en el 2014. Actualmente es miembro activo de la agrupación multidisciplinaria Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria, A.C. (2015-2018) e integrante de la Red Nacional e Internacional de Profesionales en Administración de Agronegocios y Disciplinas Afines (RENAIPAA).



Dr. Ramiro Vallejo Rodriguez.

Actualmente dirige el Proyecto de Investigación Científica Básica (2016) denominado Degradación de contaminantes emergentes presentes en agua utilizando proceso de ozonización catalítica con materiales naturales.

Las áreas de investigación de interés del Dr. Vallejo son las siguientes:

- Análisis de presencia de compuestos emergentes (CEs) en matrices ambientales.
- Estudio de impacto ambiental en salud de seres vivos y humanos por la presencia de CEs.
- Solución integral de degradación de CEs en fuentes de suministro de agua potable.

La actividad científica así como las publicaciones del Dr. Vallejo pueden consultarse en la liga siguiente:

<https://orcid.org/0000-0003-3684-3870?lang=es>

El Dr. Ramiro Vallejo considera que preservar la naturaleza es importante para la supervivencia humana de las actuales y futuras generaciones, por lo que prevenir y evitar la contaminación del ambiente es la mejor manera de hacerlo.

M. en C. Juan Gallardo Valdez

Licenciado en Geografía por la Universidad de Guadalajara, con estudios de Maestría en Ciencias de la Salud Ambiental en dicha institución. Actualmente es Investigador de la Unidad de Tecnología Ambiental del CIATEJ y Maestro del Departamento de Geografía y Ordenación Territorial de la Universidad de Guadalajara.

Sus áreas de investigación son: Ordenamiento Territorial, Impacto y Riesgo Ambiental, Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos, Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales, Análisis del Comportamiento y Cinética de Contaminantes en el medio ambiente e Indicaciones Geográficas. Ha sido responsable y coordinador técnico de la elaboración de los estudios técnicos justificativos para establecer la Denominación de Origen de la Charanda (2000), la ampliación de la Denominación de Origen del Mezcal (DOM) para 29 municipios de Michoacán (2005), para el municipio de San Luis de la Paz, Guanajuato (2010), así como para 115 municipios de Puebla, las cuales fueron otorgadas, además de los estudios técnicos justificativos para establecer la Denominación de Origen Yahualica (2015) y para incorporar a la DOM los estados de Morelos (2014), Estado de México y Aguascalientes (2016).

Autor de diversas publicaciones, libros y artículos, así como coordinador y colaborador en más de 20 proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, asesor y director de tesis de Licenciatura. Ha participado como coordinador e instructor en diversos cursos, seminarios y diplomados sobre temas relacionados con el impacto ambiental, manejo de residuos y bioremediación de suelos contaminados.



M. en C. Juan Gallardo Valdez.

Actualmente es Miembro del Comité Técnico Ampliado de la Red Temática mexicana aprovechamiento integral sustentable y biotecnología de los Agaves (AGARED), dentro del Programa de redes Temáticas CONACYT y colaborador en los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico:

Protección, sustentabilidad y aprovechamiento del ecosistema en la biodiversidad del agave: la cadena productiva del mezcal en los estados de Guerrero y Oaxaca.

Clúster Biodiesel Avanzado (CLÚSTER-BDA). Inventario y caracterización de residuos con alto contenido de grasas y aceites y/o potencial para su uso en Biorefinerías.

M. en C. Leonel Hernández Mena

El Maestro Hernández es originario de la Ciudad de México y en el 2007 se incorporó al CIATEJ como investigador en el área ambiental. Actualmente ocupa el cargo de Investigador Asociado C en el CIATEJ y la Unidad de Tecnología Ambiental.

Inició sus estudios de bachillerato en el Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur (C.C.H.) en 1989, este último parte del sistema de estudios de bachillerato incorporado a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En 1992 ingresó a la carrera de Biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM, obteniendo años más tarde el título de Biólogo. El título de Biólogo fue obtenido después de realizar una tesis experimental sobre partículas PM10 y sus efectos biológicos en el Laboratorio de Mutagénesis Ambiental a cargo del Dr. Rafael Villalobos Pietrini (q.e.p.d.), este último su Director de tesis de Licenciatura y Maestría. Este laboratorio se ubica en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, Ciudad Universitaria.

En el 2003 se incorporó al programa de posgrado en Biología en la Universidad Autónoma Metropolitana (campus Iztapalapa) y en el 2005 se le otorgó el título de Maestro en Biología. Durante el desarrollo de su proyecto de investigación continuo con el estudio de contaminantes particulados y sus efectos biológicos. Estas etapas formativas fueron las bases del tipo de investigación que hoy en día realiza en el CIATEJ (caracterización química inorgánica de matrices ambientales).

Ha sido responsable técnico y colaborador de diversos proyectos, el más reciente de ellos fue un proyecto de Ciencia Básica sobre la composición química de partículas de diferentes tamaños (PM1 y PM2.5) en la Zona Metropolitana de Guadalajara, el cual contempla la formación de recursos humanos a nivel posgrado y la publicación de artículos en revistas internacionales.



M. en C. Leonel Hernández Mena.

Así mismo, ha colaborado en proyectos sobre la caracterización química de partículas en diferentes ciudades del país, y además en la caracterización química de matrices como el suelo y el agua como objeto de estudio, principalmente sobre la presencia de especies de aniones y cationes. También se ha desempeñado como director, codirector y asesor de estudiantes de Licenciatura, Maestría y Doctorado.

El Maestro Hernández en el 2009 fue premiado como Investigador Estatal Joven por el COECYTJAL, y en el periodo 2012 a 2016 perteneció al S.N.I. Nivel de Candidato. Del 2007 a la fecha ha logrado participar en una veintena de artículos de investigación en revistas nacionales e internacionales, y en al menos tres capítulos de libros, así como de un par de libros, ya sea como autor principal o como coautor.

M. en C. José de Jesús Díaz Torres

Es Geógrafo con especialidad en el campo de las ciencias naturales; especializado en la evaluación de riesgos naturales de origen geológico e hidrometeorológico. Egresado de la licenciatura en Geografía por la Universidad de Guadalajara con el tema de evaluación del riesgo en la Cuenca del Río Atenquique en el sector oriental del Complejo Volcánico de Colima. Maestro en Ciencias por el Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada (CICESE) Baja California, con el tema de Deformación tectónica de dos segmentos del Escarpe Principal del Golfo de California: Sierra San Pedro Mártir y Sierra Juárez. Su experiencia académica está orientada al estudio de los elementos naturales y su relación con la actividad social. El Maestro Jesús Díaz es Investigador Asociado C en el CIATEJ desde Abril 2011.

Actualmente, realiza estudios relacionados con el modelado y caracterización de variables meteorológicas y su relación con contaminantes del aire, así mismo realiza estudios sobre la calidad del agua mediante técnicas de percepción remota y análisis geomorfológico en el Lago de Chapala y Laguna de Cajititlán. Adicionalmente, colabora en el desarrollo de una plataforma para la prospección tecnológica del sector agroalimentario orientado a productos del campo con alto valor agregado (café, agave mezcalero, mango, limón y miel, por citar algunos).

Ha participado en más de 10 proyectos I+D; destacando la elaboración de un mapa sobre el estado fitosanitario de los cítricos en ocho municipios del Estado de Yucatán basado en la caracterización de diversas enfermedades en cítricos y la elaboración de un catálogo de firmas espectrales de alta resolución; así mismo, ha trabajado en la Evaluación de Material Particulado (PM2.5), compuestos orgánicos volátiles y ozono para definir medidas de control en la Zona Metropolitana de Guadalajara.



M. en C. José de Jesús Díaz Torres.

Es coautor de 11 artículos científicos; coautor de un libro; miembro activo de la Unión Geofísica Mexicana y expositor en más de 30 ponencias orales. Ha participado en comités tutoriales de estudiantes de posgrado del CIATEJ y de la Universidad de Guadalajara. Contribuyó en el desarrollo y evaluación de contenidos de programas de estudios de los posgrados del CIATEJ y de la Universidad de Guadalajara (Licenciatura de Geografía y Licenciatura en Urbanismo y Medio Ambiente).

Ha establecido colaboraciones internacionales con la Universidad de Wageningen, Países Bajos y la Universidad del Estado de Arizona, Estados Unidos; y nacionales como el CICESE, el Centro-GEO, la Universidad de Guadalajara, la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, el Instituto Jalisciense de Cancerología y el Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco.

Biol. Edgardo Villegas García

El Biólogo Edgardo Villegas García es egresado de la Licenciatura en Biología de la Universidad de Guadalajara y cuenta con una Especialidad en Preservación y Conservación de los Recursos Naturales. Es Miembro Fundador del Colegio de Profesionistas en Ciencias Biológicas y Ambientales de Jalisco A.C.

Es coautor de 1 libro, 3 capítulos en libro, 13 artículos científicos y 8 artículos de divulgación.

Ha participado en las transferencias tecnológicas de un "Sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas".

De 1990 a 1995 se desempeñó como Subdirector de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental en la Comisión Estatal de Ecología, del Gobierno de Jalisco. Desde 1995 a la fecha labora en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C., realizando servicios ambientales como Estudios de Impacto Ambiental y Análisis de Riesgo Ambiental; Participación en diversos proyectos de investigación y desarrollo tecnológico relacionados con:

a) Tratamiento de aguas residuales sanitarias e industriales: "Tratamiento de vinazas tequileras por medio de un sistema biológico a través de un reactor anaerobio", "Desarrollo tecnológico de un sistema de tratamiento para aguas residuales de la industria cárnica y obtención de biogás", "Tratamiento de aguas residuales sanitarias por medio de humedales artificiales subsuperficiales", "Evaluación y validación del desempeño tecnológico de un proceso físico-químico en comparación con dos procesos alternativos no convencionales para el tratamiento de aguas residuales de la industria cárnica", entre otros.



Biol. Edgardo García Villegas.

b) Tratamiento de residuos sólidos: "Diagnóstico de generación y caracterización de residuos sólidos urbanos en los municipios que conforman la región altos sur del estado de Jalisco", "Estudio técnico para la identificación de materiales con potencial reciclable para su posible estrategia de comercialización", "Informe de la situación actual, resultados y perspectivas del uso de abonos orgánicos a nivel nacional", "Variación de las poblaciones microbianas y los cambios en procesos de suelo ocasionados por efecto de la aplicación de vinazas de la industria del tequila", "Combinación de tecnologías de remediación para la conservación y restauración de suelos contaminados con hidrocarburos", "Clúster de Biodiesel Avanzado de la SENER", entre otros.

Dr. Oscar Aguilar Juárez

Es originario de la Ciudad de Celaya, Guanajuato. Realizó sus estudios de Licenciatura en Ingeniería bioquímica en el *Instituto Tecnológico de Celaya*, egresando en 1991. Es Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental por el *ITESM Campus Monterrey* egresando en 1994, Diplomado en Estudios Avanzados y Doctor en Ingeniería de Procesos Industriales, opción Procesos del Ambiente, egresado en 2000 del *Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Toulouse, Francia (INSA-T)*. El Dr. Aguilar labora en *CIATEJ* desde 2010, y desde el 2017 está adscrito a la Dirección de Tecnología Ambiental. Actualmente es Tecnólogo Titular C.

Ha complementado su formación académica con diplomados en áreas diversas como ecología, administración de proyectos, habilidades directivas y finanzas; así como certificaciones en sistemas de calidad y calidad ambiental. Es autor y co-autor de 6 artículos en revistas internacionales arbitradas y 9 artículos en revistas de divulgación, ha presentado trabajos (autor y co-autor) en más de 30 Congresos nacionales e internacionales. Es autor y co-autor de 6 capítulos en libros. Ha dirigido 6 proyectos de investigación y/o desarrollo tecnológico e innovación y ha sido colaborador en 3 proyectos más, mayormente orientados al diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales, producción de biocombustibles gaseosos, manejo de residuos urbanos y RPBI.

En 2012 el proyecto "Estudio del Desarrollo Urbano de la Zona Conurbada de Guadalajara según Indicadores de Sustentabilidad" 2001 a 2002, patrocinado por el COECYTJAL fue reconocido en Estocolmo, Suecia, como proyecto que contribuye al desarrollo sustentable de países en vías de desarrollo.



Dr. Oscar Aguilar Juárez.

Ha titulado a 8 estudiantes de Maestría y actualmente dirige cuatro tesis de Licenciatura y dos tesis de Maestría.

Intereses de investigación:

Desarrollo sustentable, herramientas de negocio para la sustentabilidad, energías renovables, gestión de la calidad, Normas ISO 9000, ISO 14000, ISO 17025, evaluación y gestión de proyectos, indicadores de sustentabilidad, desarrollo urbano sustentable, responsabilidad social empresarial, cambio climático, digestión anaerobia, ingeniería ambiental, gestión de residuos.

Información adicional (producción científica):

Researchgate:

https://www.researchgate.net/profile/Oscar_Aguilar_Juarez

Linkedin:

<https://www.linkedin.com/in/oscar-aguilar-ju%C3%A1rez-4a625359/>

Dr. Luis Alberto Arellano García

El Dr. Luis Arellano se especializa en el diseño de métodos biológicos para el tratamiento biológico de emisiones gaseosas y aguas residuales. Realizó sus estudios de Ingeniería Química en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Iztapalapa de 2000 a 2005. Posteriormente fungió como supervisor de producción durante menos de un año en la industria embotelladora de agua para consumo humano.

De 2006 a 2014 realizó estudios de Maestría y Doctorado en Ingeniería Química en la UAM Iztapalapa bajo la dirección del Dr. Sergio Revah, donde llevó a cabo tres estancias de investigación en la Universidad de Cádiz España, la Universidad de Gante en Bélgica y la Universidad Politécnica de Cataluña. Entre 2014 y 2015 realizó una estancia posdoctoral en el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT) donde colaboró con el Dr. Elías Razo en la elaboración de la propuesta del CEMIEBio Gaseosos actualmente en ejecución.

De 2015 a 2017 realizó una estancia posdoctoral en la Universidad de Columbia en Nueva York, Estados Unidos, en el laboratorio especializado en tratamiento de aguas residuales del Dr. Kartik Chandran. A partir de mediados de 2017, y como parte del programa de Cátedras del CONACYT, el Dr. Luis Arellano se incorpora al CIATEJ y la UTAM, para colaborar en las actividades del CEMIEBio Gaseosos asignadas a CIATEJ, además de colaborar en proyectos de degradación de compuestos farmacéuticos con ozono y un proyecto interdisciplinario sobre equidad en acceso al agua y drenaje en comunidades de Jalisco. El Dr. Arellano ha publicado 10 artículos de investigación en revistas internacionales indexadas y actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores con Nivel I.



Dr. Luis Alberto Arellano García.

Entre sus intereses de investigación se encuentran el tratamiento biológico de malos olores y aguas residuales, procesos de fermentación y digestión anaerobia, desulfurización de biogás, modelamiento matemático de reactores biológicos y tratamiento y gestión del agua potable.

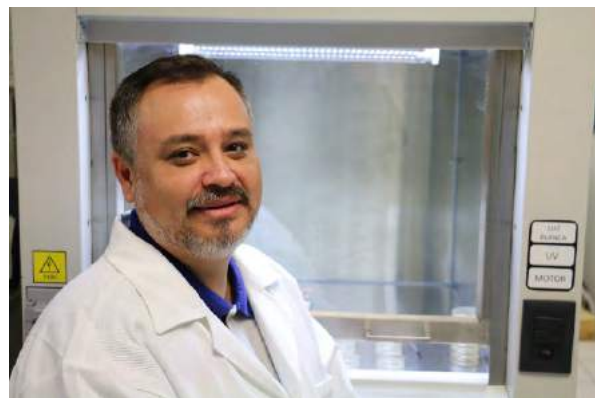
Dr. Jesús Bernardino Velázquez Fernández

El Dr. Velázquez-Fernández cuenta Con Maestría y Doctorado en Ciencias en la especialidad en Bioquímica, por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Con dominio de los Idiomas: inglés, francés, latín y euskera.

Tiene estancias de investigación en Francia (Laboratorio Interdisciplinario de Ambientes Continentales, Nancy, Francia), España (Unidad de Biofísica, UPV-CSIC, Bilbao, España) y una estancia posdoctoral en EUA (Laboratorio de Investigación Goodwin Universidad de la Mancomunidad de Virginia, Richmond).

Desde 2008, perfil deseable PROMEP, miembro del S.N.I. de 2008 a 2013. Miembro de la Sociedad Americana de Química desde el 2008. Tiene 21 publicaciones en artículos arbitrados e indizados, 5 capítulos de libro y el primer libro internacional sobre biorremediación editado por investigadores mexicanos en colaboración con otros grupos a nivel mundial (en el 2013). Ha formado dos Doctores, dos Maestros y trece estudiantes de Licenciatura.

Se especializa en el estudio de Interacciones Metabolismo - Medio Ambiente con énfasis en el estudio genético, bioquímico y fisicoquímico de enzimas de biotransformación, tanto su uso y estudio, como su producción y aplicación en las áreas de la salud, industrial o ambiental. De esta manera, abarca desde la detección de genes o polimorfismos genéticos que puedan servir como biomarcadores de susceptibilidad o indicadores de biodegradabilidad, hasta la producción y purificación de proteínas naturales o recombinantes, que pueden ser utilizados para la síntesis o biodegradación de compuestos y el estudio de mecanismos de resiliencia biológica. Así mismo, ha trabajado en biorremediación y fitorremediación, así como en estudios de biodiversidad de la microbiota (metagenómica tradicional y funcional) y su proteoma mediante técnicas convencionales o moleculares.



Dr. Jesús Bernardino Velázquez Fernández.

Ha colaborado con grupos a nivel nacional e internacional, como la Universidad de la Mancomunidad de Virginia, EUA, la Universidad de Lorena, Francia, y la Unidad de Biofísica, España, en temas de biofísica de proteínas y enzimas, así como en biología molecular e ingeniería genética.

Como parte del programa de Cátedras del CONACYT se incorporó a la UTAM del CIATEJ, en agosto del 2017, para contribuir con las metodologías y enfoques en bioquímica, biología molecular y sintética a los diferentes proyectos de investigación y servicios que se realizan en dicha Unidad.

Dra. Cristina Torres Duarte

La Dra. Torres es originaria de la Ciudad de Hermosillo, Sonora, y egresó de Ingeniería Química de la Universidad de Sonora en el 2002. Realizó sus estudios de posgrado el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México donde obtuvo el grado de Maestra y de Doctora en Ciencias Bioquímicas en el 2009 y 2012, respectivamente. Realizó una estancia postdoctoral en el Bodega Marine Laboratory de la University of California Davis del 2013 al 2017. Cristina se integró a CIATEJ en noviembre 2017 a la Unidad de Tecnología Ambiental dentro del programa de Cátedras del CONACYT.

Su principal interés es contribuir al desarrollo sustentable de la sociedad, promoviendo la concientización del potencial impacto ambiental de nuestras actividades cotidianas y cómo podemos modificar nuestros hábitos para mantener un sano equilibrio entre la comodidad, el avance tecnológico y un medio ambiente sano. Su quehacer científico busca desarrollar e implementar métodos sustentables para la eliminación de contaminantes, con el objetivo siempre de la restauración del equilibrio ecológico.

En su posgrado se especializó en la eliminación de plaguicidas y disruptores endócrinos utilizando enzimas producidas por hongos ligninolíticos, y en el posdoctorado formó parte del University of California's Center for Environmental Implications of Nanotechnology, donde se especializó en los efectos de los nanomateriales en organismos acuáticos. Sus principales proyectos incluyeron estudios de los efectos de los nanomateriales en el desarrollo larvario de erizos de mar, la evaluación *in-vitro* de toxicidad celular, estudio de efectos subletales en bivalvos, y el impacto del cambio climático en la toxicidad ambiental de los nanomateriales.



Dra. Cristina Torres Duarte.

Es autora y co-autora de 12 artículos en revistas internacionales arbitradas, y co-autora de dos capítulos de libros, los cuales han sido citados en cerca de 200 ocasiones (Índice h=7). Ha asesorado proyectos de investigación de 10 estudiantes de Licenciatura en temas de toxicología ambiental. Es miembro del S.N.I. Nivel I, miembro de la American Chemical Society, e Investigador Asociado de la Universidad de California Davis.

Sus actuales líneas de investigación son:

Aprovechamiento de desechos agroindustriales para la producción de enzimas con fines ambientales.

Evaluación de efectos ambientales de contaminantes emergentes.

Desarrollo de técnicas biocatalíticas para la eliminación de contaminantes ambientales.

Desarrollo de metodologías para la evaluación *in-vitro* de toxicidad de nanomateriales en suelo.

Información adicional (producción científica):

Researchgate:

https://www.researchgate.net/profile/Cristina_Torres-Duarte

CAPÍTULO III

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



El agua residual doméstica e industrial requiere de un tratamiento previo a su descarga a cuerpos receptores de agua y suelos fértiles, con la finalidad de evitar su contaminación. En la UTAM y la sub-línea de investigación *Tratamiento de Aguas Residuales*, generamos conocimiento aplicando procesos y tecnologías innovadoras, que sean eficientes y sustentables para el tratamiento de las aguas residuales.

Esta sub-línea desarrolla investigación sobre el tratamiento de aguas residuales para el sector agroindustrial utilizando procesos biológicos con producción de energía y procesos de oxidación avanzada para aguas residuales de baja biodegradabilidad. Se realiza el diseño de sistemas de tratamiento y el modelado de estos sistemas para su optimización. Los principales proyectos que se han realizado en esta sub-línea de investigación están asociados al desarrollo de procesos biológicos para el tratamiento de agua residuales de la industria cárnica (rastros, embutidoras y procesadoras de carne), de la destilación (tequileras, alcoholeras) y de lácteos. A continuación se presenta la información de los proyectos de investigación más representativos, que han sido apoyados por fondos públicos y privados.

La disponibilidad tecnológica para el tratamiento de agua residual doméstica es diversa, y está orientada, principalmente, a satisfacer las necesidades de grandes ciudades y metrópolis. Además de presentar elevados costos de inversión y operación asociados al alto

consumo de energía, lo cual no resulta viable para tratar el agua residual de poblaciones de menos de 2,500 habitantes. Por otro lado, son escasos los sistemas de tratamiento de agua residual que se han desarrollado con bajo consumo de energía y con eficiencias de remoción de contaminantes superiores al 90% para estas pequeñas poblaciones.

Ante esta necesidad tecnológica, social y ambiental, investigadores del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ) han desarrollado una tecnología innovadora con solución efectiva denominada "*Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas sin consumo de energía eléctrica*" (PTARD-SEE) (patente denominada "*Sistema y proceso modular para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas*". No. 342095. No. MX/a/2010/014332).

La planta o sistema de tratamiento está integrada básicamente de tres etapas de tratamiento, cada una con características específicas: i) tanque séptico para la eliminación de materia sedimentable y flotante; ii) filtro anaerobio para la degradación de materia orgánica; iii) humedal artificial de flujo subsuperficial para la eliminación de materia orgánica residual y nutrientes (fósforo y nitrógeno), además de contar con un pretratamiento para eliminar sólidos gruesos y una etapa de desinfección para eliminar microorganismos patógenos (Figura 3.1). La

PTARD-SEE remueve de manera eficiente más del 95% de materia orgánica medida como demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) en agua residual doméstica, y su capacidad de depuración garantiza cumplir con las normas vigentes en materia de descarga de aguas residuales (**NOM-001-SEMARNAT-1996; NOM-002-SEMARNAT-1996; NOM-003-SEMARNAT-1997; López et al. 2013**).

Las ventajas y beneficios competitivos de esta invención son: la operación del sistema no consume energía eléctrica; los costos de operación son 10 veces menores con respecto a la tecnología comercial y se limitan al mantenimiento y limpieza del sistema; los costos de inversión para obra civil son menores con respecto a los sistemas convencionales; la producción de lodos residuales es al menos 5 veces menor con respecto a sistemas convencionales; la calidad de agua garantiza el cumplimiento de las NOMs de la SEMARNAT.



Figura 3.1. Perspectiva de la PTARD-SEE en la sede de CIATEJ-Zapopan. En primer plano se aprecian las instalaciones del tanque séptico y el filtro anaerobio, y a la izquierda el humedal artificial subsuperficial.

La PTARD-SEE ha sido validada a nivel laboratorio y piloto, actualmente ha sido implementada a gran escala para cubrir una necesidad máxima de tratamiento 1.2 L/s (600 personas) de agua residual generada en las instalaciones del CIATEJ Unidad Zapopan. La operación y la calidad del agua es excelente, lo que permite que el agua tratada sea reusada para el riego de áreas verdes de la misma institución, por lo que se tienen cero descargas de aguas residuales y nulo impacto ambiental negativo asociado a la generación de agua residual. Debido a su éxito esta tecnología se ha licenciado a dos empresas.

Un proyecto relacionado con la presencia de compuestos disruptores endocrinos presentes en agua y su tratamiento fue el llamado "*Proceso de oxidación avanzada basado en ozono para degradar compuestos disruptores endocrinos emergentes (CDE) presentes en el agua*".

Esta investigación se estableció dentro de un marco nacional e internacional de necesidad ambiental y de salud pública, para desarrollar nuevos métodos de análisis y tratamiento de agua que contiene contaminantes emergentes, específicamente compuestos disruptores endócrinos (CDE), cuya problemática de tratamiento ha sido resuelta de manera limitada con los procesos convencionales (lodos activados, coagulación floculación, filtración, desinfección con cloro, entre otros). Particularmente, esta investigación se orientó a

desarrollar un método analítico para detectar los *CDE* en el agua y un proceso de oxidación avanzada basado en ozono (POA-O₃) para degradar *CDE* presentes en el agua y así establecer los fundamentos técnicos, científicos y las condiciones óptimas de tratamiento para un futuro escalamiento del proceso. El conocimiento científico generado se puede hacer extensivo al proceso de tratamiento de depuración de agua contaminada con otro tipo de *CDE*, tales como: plaguicidas, alquilfenoles, dioxinas, bifenol-A, dioxinas, bifenilos policlorados, hidrocarburos poliaromáticos, estireno, ftalato. En consecuencia, el POA-O₃ desarrollado se presenta como una alternativa de solución a los problemas de salud pública ligados al consumo del agua con presencia de *CDE* y de los problemas ambientales emanados de la contaminación de suelos y cuerpos de agua con este tipo de compuestos orgánicos.

Dentro de los logros establecidos en el proyecto se encuentran el desarrollo de un método analítico de detección y cuantificación de dos grupos de contaminantes, fármacos y esteroides, presentes en agua, utilizando la técnica denominada extracción en fase sólida (*EFS*) con análisis instrumental mediante cromatografía de líquidos y detección arreglo de diodos (*DAD*). Los límites de detección obtenidos en el método analítico permiten en un momento dado su aplicación a matrices ambientales como aguas superficiales tales como ríos y lagos que contienen las dos familias de compuestos (**Vallejo et al. 2011; 2012**). Así

también, el método analítico permitió llevar a cabo su aplicación en el seguimiento de las cinéticas de tratamiento establecidas por el equipo de investigación mediante POA-O₃. Las cinéticas a nivel laboratorio se obtuvieron mediante condiciones de pseudo primer orden y con la técnica de cinética competitiva (**Vallejo et al. 2014; Flores et al. 2017**).

Continuando con el desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales enfocados al sector productivo agroalimentario, en particular con la cadena productiva de la carne es el proyecto llamado "*Planta y proceso de tratamiento para aguas residuales de rastro*" (FOMIX-CONACYT-Hidalgo y FOMIX-CONACYT-Guanajuato). Los rastros municipales son establecimientos públicos y privados, cuya actividad principal es la matanza de animales para el abastecimiento de carne de la población. Las aguas residuales de rastros municipales son una fuente potencial de problemas ambientales y de salud pública, además de violar la legislación en materia de protección ambiental. La concentración media de materia orgánica de estos efluentes, medida como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) es del orden de 6500 y 9000 mg/L, respectivamente; el contenido promedio de grasas y aceites es del orden de 500 mg/L. Además, las aguas residuales de rastro también contienen una gran cantidad de microorganismos patógenos tales como *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio cholerae* y virus, entre muchos otros, los cuales generan un

gran número de enfermedades como fiebre tifoidea, disentería, cólera y hepatitis. En México se tienen registrados oficialmente 1000 rastros municipales, de los cuales sólo 20 cuentan con planta de tratamiento de aguas residuales. Por lo que las aguas residuales de estos establecimientos son descargadas directamente al alcantarillado municipal, a cuerpos de agua y al suelo sin previo tratamiento (Figura 3.2).



Figura 3.2. Ejemplo de las aguas residuales de un rastro municipal en un contenedor temporal antes de su descarga al ambiente.

Ante esta problemática de carácter ambiental y de salud pública, se propuso un paquete tecnológico conformado por la ingeniería conceptual del sistema de tratamiento y de la ingeniería básica y de detalle. Las etapas de tratamiento secuenciales que la integran son: cribado y desarenado, homogenización y bombeo, hidrotamizado; retención de grasas y aceites; tratamiento biológico (filtro anaerobio

y reactor aerobio de lodos activados de elevada carga orgánica) y desinfección (cloración) para la eliminación de microorganismos patógenos. Además, las etapas de este desarrollo tecnológico se diseñaron modulares, con materiales comerciales de bajo costo, sin requerir productos químicos especiales o cualquier otro cuidado más allá de lo que requiere un sistema de tratamiento convencional.

En la práctica el desarrollo tecnológico demostró la capacidad para tratar aguas residuales de rastro con concentraciones por arriba de 200 y 3000 mg/L de DBO y DQO, respectivamente, con eficiencias de remoción del 80 al 98% de materia orgánica, medida como DBO o DQO (López et al. 2010; 2012; Méndez et al. 2011). Además, un punto a favor de este desarrollo es que los costos de tratamiento de agua residual son entre 30 y 50% menores con respecto a los costos de un sistema de tratamiento de lodos activados y coagulación floculación.

Derivado del desarrollo tecnológico, se cuenta con una patente otorgada denominada "Planta y proceso de tratamiento para aguas residuales de rastro", No. 340151, Folio: MX/E/2009/083455.

En el año 2011 se ejecutó otro proyecto relacionado con la generación de aguas residuales derivada de la industria de los embutidos denominado "Desarrollo tecnológico

de un sistema de tratamiento para efluentes de la industria cárnica” (PEI-CONACYT-EMPRESA). Este proyecto fue desarrollado al retomar algunos aspectos técnicos y principios de la patente con No. 340151.

La elaboración de embutidos ha adquirido importancia en los últimos años debido a la creciente demanda alimenticia en el país. Debido a su proceso productivo, la generación y descarga de vertidos líquidos se ha incrementado, provocando que se centre la atención en esta problemática. Dichas descargas están constituidas principalmente por grasas, sangre, proteínas, especias, almidones, aditivos, detergentes, fragmentos de piel y carne, entre otros materiales presentes. Generalmente su pH es ácido y contienen concentraciones elevadas de sales de sodio, primordialmente cloruro, fosfatos, nitratos y nitritos.

La caracterización en laboratorio de algunos de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales, permitieron establecer que contienen elevadas concentraciones de materia orgánica (DQO: 3,500 mg/L y DBO 2,250 mg/L), contenidos de grasas y aceites (1,114 mg/L), materia en suspensión, coloración intensa, contenido de nitrógeno total y fósforo total considerables (135 y 25 mg/L) (León et al. 2016).

Los impactos negativos al ambiente por la descarga de este tipo de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica a cuerpos de agua sin tratamiento, inducen cambios en las condiciones del medio acuoso, restando oxígeno disuelto y virando las condiciones del proceso de degradación de aerobias a anaerobias.

Bajo esta problemática, el objetivo de este proyecto fue desarrollar y diseñar un sistema de tratamiento tanto técnicamente como económicamente viable para el manejo integral de las aguas residuales generadas en los procesos de producción y áreas de servicios de la empresa.

El producto generado y transferido fue un paquete tecnológico a través del proyecto ejecutivo del sistema de tratamiento; este sistema fue implementado por la empresa y se encuentra actualmente en operación. La Figura 3.3 muestra los diferentes sistemas modulares que integran esta tecnología para el tratamiento de aguas residuales de la industria cárnica, específicamente de la elaboración de embutidos.

De esta manera, el paquete tecnológico es una solución técnica, efectiva, y rentable para el tratamiento de aguas residuales de la industria de embutidos. Al mismo tiempo, se contribuyó a reducir la contaminación por descargas de agua residual de la industria de embutidos al

alcantarillado municipal y al cuerpo receptor final. Por último, la empresa se benefició en la reducción de gastos económicos asociados al pago de derechos de descarga de agua residual;

además contribuyó a reducir los riesgos de salud pública de los trabajadores de la empresa y población aledaña.

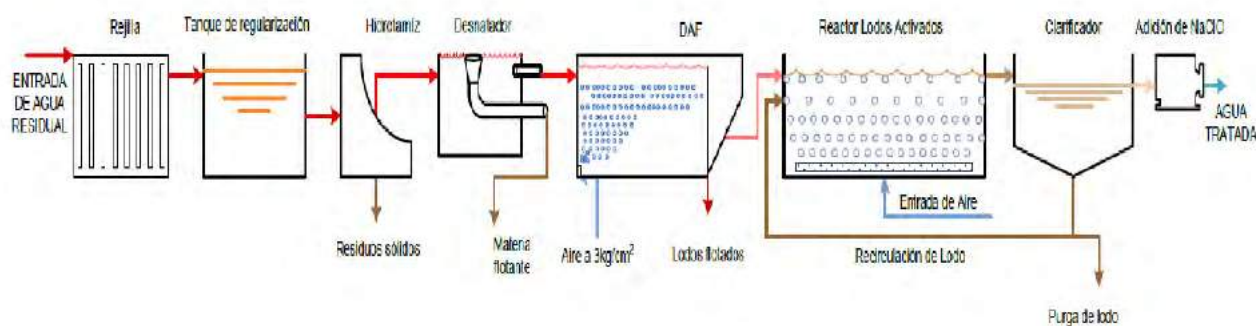


Figura 3.3. Configuración del paquete tecnológico desarrollado por la UTAM para el tratamiento de aguas residuales de la industria cárnica y elaboración de embutidos.

En el 2015 se llevó a cabo el proyecto “Desarrollo tecnológico a nivel piloto de un sistema de tratamiento biológico para las aguas residuales del proceso de beneficiado húmedo de café” (PEI-CONACYT-Empresa). El problema de las aguas residuales por esta actividad productiva, es que de 100 a 800 L de agua residual se generan por cada 1250 Kg de cereza de café procesada al día (el proceso de preparado de granos de café para su consumo, y que en una de sus etapas es el origen de las aguas residuales, se conoce como beneficiado húmedo). Las aguas residuales representan un riesgo para el ambiente, por su alto contenido de materia orgánica en términos de DQO (demanda química de oxígeno) de 50,000 mg/L y de DBO (demanda bioquímica de oxígeno) de 20,000 mg/L, un pH ácido inferior a

4.4, presentan un color superior a 2,000 unidades de Pt-Co, además de la presencia de compuestos fenólicos, taninos y alcaloides (cafeína). Por estas características de calidad del agua (contenido de materia orgánica, pH ácido y color), cada litro generado por esta actividad productiva equivale a 125 L de un agua residual doméstica que se genera en una casa habitación. Además, la producción nacional anual de granos de café es de 186 mil toneladas y el 90% son procesadas por beneficiado húmedo. Esto permite poner en contexto el impacto negativo de esta actividad productiva, sobre todo porque una parte importante de las aguas residuales se descargan sin tratamiento a cuerpos naturales receptores de agua. La Figura 3.4 ejemplifica las etapas de despulpado de la cereza del café y lavado de los granos del café como parte del

proceso de beneficiado húmedo, siendo este el origen de la mayor parte de las aguas residuales.

En los últimos años ha sido notorio el impacto negativo de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores de agua, debido principalmente a la falta de tecnología disponible para su tratamiento. Existen muy pocos productores de café que cuentan con alguna tecnología para el tratamiento de aguas residuales, y sólo se limitan a tratar volúmenes pequeños o los sistemas de tratamiento presentan deficiencias en su diseño y operación. Ante esta problemática ambiental y de necesidad tecnológica para tratar las aguas residuales del beneficiado húmedo del café, surge la alternativa de desarrollar y emplear una tecnología adecuada para reducir este problema de impacto directo en el ambiente.



Figura 3.4. El proceso de beneficiado húmedo incluye las etapas de recibo, lavado, despulpado, fermentación, remoción del mucílago, lavado, clasificado y secado del café al 12% de humedad.

Este proyecto evaluó procesos fisicoquímicos y biológicos para el tratamiento de aguas residuales generadas en el beneficio húmedo del café para pequeños productores (1250 kg de café cereza procesados al día) que fuera técnica y económicamente viable. Para el sistema de tratamiento propuesto se consideró que el proceso de beneficiado de café es temporal (noviembre a marzo), por lo que la estimación de generación de agua fue considerada anual.

El proceso fisicoquímico de coagulación-floculación permitió la remoción de materia orgánica expresada como DQO del 42%, la reducción del color en 88% y de sólidos disueltos totales del 74%. Este proceso consistió en agregar sustancias químicas que aglutinaban mediante sedimentación los contaminantes en el fondo del tanque donde se trataba el agua residual. Sin embargo, dadas las características del agua, se tuvo que dar un tratamiento de pulimento de tipo biológico mediante el uso de humedales artificiales, y que consiste en una operación simple y económica, con lo cual se logra reducir aún más la materia orgánica (76%) presente en el agua y el color (83%). Esta etapa del proyecto se realizó a nivel laboratorio. Un humedal artificial es una réplica controlada de lo que sucede en la naturaleza y es una zona de tierra, generalmente plana, cuya superficie se inunda de manera permanente o intermitentemente y donde se colocan plantas (Figura 3.5). De forma global, mediante este

tratamiento se reduce el color en 98%, y la materia orgánica expresada como DQO en 90%.

También se evaluó el potencial de producción de metano de las aguas residuales del beneficiado húmedo del café, para ser usado como una fuente alterna de energía, a la vez que se da un tratamiento a las aguas residuales. La máxima remoción de materia orgánica expresada como DQO fue de 80% y la velocidad de generación de metano fue de 52 mL CH₄/L_r-h (Figura 3.6).



Figura 3.5. Humedal artificial subsuperficial a escala laboratorio para las pruebas de tratabilidad del agua residual del beneficiado húmedo del café.

Estos resultados permitieron el diseño y desarrollo de la ingeniería conceptual y básica del sistema de manejo integral del agua residual generada del proceso de beneficio húmedo del café para pequeños productores. El tratamiento de las aguas residuales generadas en el proceso del beneficio húmedo del café evitará la

contaminación de cuerpos de agua y suelo, contribuyendo a la calidad de salud de los habitantes aledaños de las comunidades donde se ubiquen los productores de café. Las empresas que realizan el proceso de beneficiado húmedo del café serán socialmente responsables al tratar el agua residual generada. El impacto negativo evitado al ambiente se hará notable, pues las aguas residuales recibirán un tratamiento tal que permitirá que el proceso de producción de café no comprometa los recursos naturales futuros.



Figura 3.6. Equipo AMPTS II en la evaluación de la producción de metano derivado de las aguas residuales del beneficiado húmedo del café.

El siguiente proyecto también basa el tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales. El proyecto referido fue desarrollado para el sector agroalimentario, y llevó el nombre de *“Diseño e implementación de una planta piloto para el tratamiento y reutilización de aguas residuales de ingenios azucareros y fábricas de alcohol en el Estado de Veracruz usando humedales artificiales*

(fitorremediación)" (FOMIX-CONACYT-Veracruz). El estado de Veracruz cuenta con 22 ingenios que representan al 36 por ciento de la industria azucarera nacional. Los ingenios se abastecen de una superficie industrializable de 233,011 hectáreas de caña de azúcar y dan ocupación directa e indirecta a 145,000 personas en campo y 22,000 en fábrica, lo que hace un total de 167,000 empleos (López, 2018).

La Figura 3.7 presenta un diagrama del proceso de transformación de la caña de azúcar y resalta aquellas etapas críticas que requieren de agua; así como las etapas más importantes que generan aguas residuales de esta actividad productiva. El consumo de agua alcanza entre los 3 y 400 m³ de agua potable por tonelada de producto. Kolhe et al. (2009) reportan que un ingenio azucarero con capacidad de procesamiento de 2,500 toneladas diarias de caña de azúcar, genera 1000 m³ por día de aguas residuales, la mayoría de esta agua se debe a los excesos de condensados de los evaporadores y de los sistemas de enfriamiento de los equipos (350 m³ por día). Bajo este contexto, el objetivo del proyecto fue desarrollar e implementar tecnológicamente un sistema a nivel piloto para el tratamiento y reutilización de aguas residuales de las industrias azucarera y alcoholera en el Estado de Veracruz basado en humedales artificiales como una alternativa viable y rentable. Para tal fin, se seleccionó un ingenio productor de azúcar.

La Tabla 3.1 muestra los valores de los parámetros fisicoquímicos de la calidad de las aguas residuales antes de ingresar al humedal artificial. Es importante señalar que la tecnología se validó bajo condiciones reales de operación, con la construcción de un humedal artificial subsuperficial a nivel piloto dentro de las instalaciones del ingenio azucarero. El humedal artificial operó a una carga orgánica de 0.36 kg m⁻³ por día, con una eficiencia de remoción de materia orgánica del 91% y 98% para DQO y DBO, respectivamente.

Tabla 3.1 Calidad del agua residual de un ingenio azucarero del estado de Veracruz

Parámetro	Unidad	Promedio ± D.E.
pH	U.P.	6.7±0.05
Temperatura	° C	42.0±0.5
Conductividad	mS cm ⁻¹	5.88±0.25
Turbidez	UNT	46.56±3.72
Grasas y aceites	mg L ⁻¹	27.14±3.12
DQO	mg L ⁻¹	721.00±36.29
DBO	mg L ⁻¹	418.00±45.38
SST	mg L ⁻¹	30.00±0.44
NT	mg L ⁻¹	6.00±0.47
N-NH ₃	mg L ⁻¹	1.10±0.36
FT	mg L ⁻¹	2.30±0.13

Fuente: López, 2018.

Ç

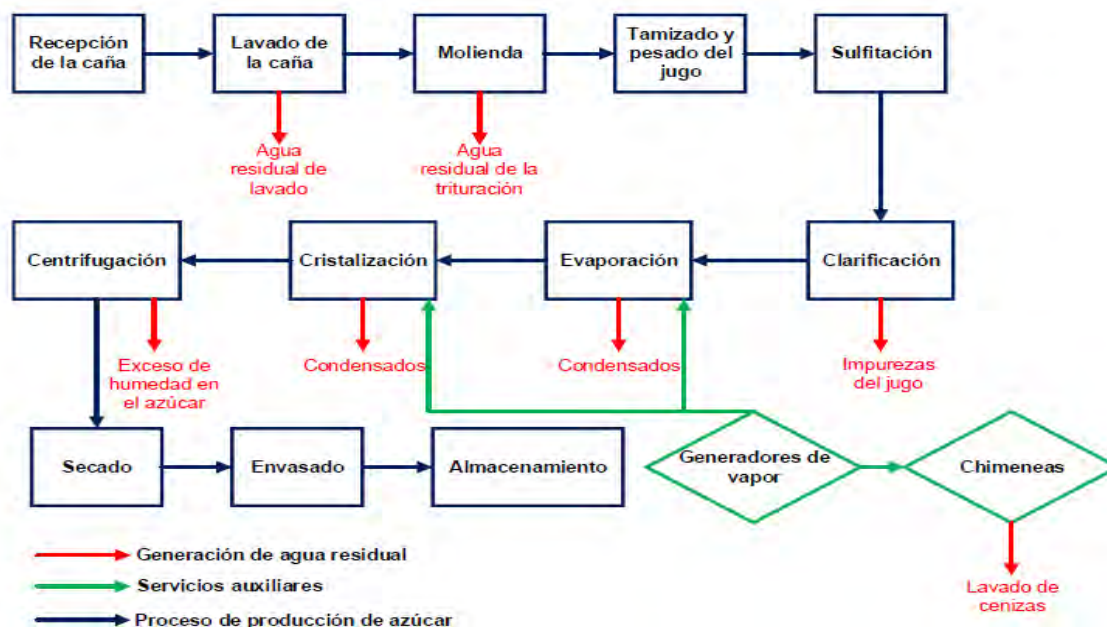


Figura 3.7. Diagrama de procesos de la industria azucarera.

Cuando la carga orgánica aumentó a 0.64 Kg m^{-3} por día, las remociones de DQO y DBO disminuyeron a 39% y 40%. No obstante, cuando el sistema se estabilizó, se alcanzaron eficiencias de remoción de DQO y DBO del 70% y 62%, respectivamente. En el caso del nitrógeno total la eficiencia de remoción lograda fue del 71%. La Figura 3.8 muestra el humedal piloto construido en el área de operación del ingenio azucarero ubicado en Veracruz y cualitativamente la calidad del agua antes y después del tratamiento.

El desarrollo tecnológico propuesto de tratamiento de aguas residuales basado en humedales artificiales, garantiza descargar agua tratada de calidad en contenido de materia orgánica y nutrientes dentro de los límites permisibles de la **NOM-001-SEMARNAT-1996**

referente a la descarga de aguas residuales (150 a 200 mg DBO/L, 150-200 mg SST/L, 20-60 mg NT/L, 20-30 mg PT/L).

La concentración promedio en la salida del humedal es menor a 50 mg/L para la DBO, igual a 50 mg/L para SST y menor a 10 mg/L para el nitrógeno total y 20 mg/L para el fósforo total.

En términos económicos, esta tecnología de tratamiento es de costos de inversión menor del 50% comparado con otros sistemas para los mismos fines, operativamente la tecnología garantiza a las empresas reducción de costos al menos del 25%, derivado del ahorro de energía, pagos por derechos de descargas y multas. En términos de impactos ambientales y sociales, esta tecnología contribuye a brindar una

solución ambiental al problema de contaminación que se genera en los ingenios azucareros y fábricas de alcohol, y en consecuencia contribuye a reducir los riesgos a la salud pública derivados de la contaminación del agua.



Figura 3.8. a.-Humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales de un ingenio azucarero; b.-muestras de agua del ingenio antes y después del sistema de tratamiento basado en humedales artificiales.

Otro proyecto desarrollado para atender problemas ambientales de la industria alimenticia y la generación de sus aguas residuales, fue el de “Valorización de residuos de la transformación de biomasa agroindustrial en energía térmica renovable y caracterización de fuentes alternas. Estudio de la caracterización para el aprovechamiento del licor de prensa” (PEI-CONACYT-Empresa).” Este proyecto fue realizado en atención a una problemática de generación de residuos líquidos de una empresa dedicada a la fabricación de jugo concentrado,

aceites y esencias partir de cítricos como naranja, toronja y limón.

La empresa cuenta con un sistema que permite generar energía a partir de biomasa (residuos sólidos del proceso de producción como bagazo, cáscaras de cítricos y semillas) (Figura 3.9). Para que la biomasa pueda ser utilizada como combustible en los hornos y el proceso de combustión sea eficiente, ésta debe de tener una humedad menor o igual al 35%. Esta condición implica que el 82% de la humedad inicial de la biomasa se reduzca, para lo cual, se utilizan dos prensas rotatorias con tornillo helicoidal que procesan 25 toneladas de cáscara de cítricos por hora. A la salida de esta operación, la cáscara de los cítricos contiene una humedad del 60 al 65%, generando alrededor de 3.6 L/s de un efluente residual, mejor conocido como *licor de prensa*.



Figura 3.9. Cáscaras de naranja para la obtención de energía como biomasa. Antes de su empleo como biomasa para combustión se debe reducir el contenido de humedad, esto de forma mecánica. A este exceso de humedad se le conoce como licor de prensa.

El objetivo del proyecto fue diseñar un sistema de aprovechamiento o de tratamiento del licor de prensa para obtener productos de valor agregado o darle un manejo integral para su disposición final y cumplir con los objetivos de sustentabilidad de la empresa, de tal forma que los procesos productivos sean sustentables desde un punto de vista ambiental y permitieran el cumplimiento con la normatividad vigente en materia de descarga de aguas residuales para esta industria en el estado de Veracruz.

Para lo cual se realizó un estudio de caracterización de los efluentes líquidos de la empresa (licor de prensa y aguas residuales) y el estudio de su tratabilidad, cuyos resultados permitieron definir la ruta para su aprovechamiento y/o tratamiento. Asimismo, se desarrolló un proyecto ejecutivo que incluía la ingeniería conceptual y básica del sistema de manejo integral de tratamiento de agua residual generada en los procesos de producción, y el cual fue transferido a la empresa quien se benefició con este resultado y evito la contaminación de cuerpos de agua y suelo como consecuencia de su descarga, contribuyendo así a mejorar la calidad de salud de los habitantes aledaños a la empresa. El sistema de tratamiento de efluentes permitiría cumplir con la normatividad de descarga de aguas residuales y la empresa tendría una reducción de al menos 20% de los costos por pago de multas.

Por otra parte, la UTAM y la sub-línea de tratamiento de aguas residuales también han participado en el tratamiento de las vinazas tequileras, el principal residuo líquido de una de las industrias más prósperas de la región occidente del país. La transformación de distintas especies de agave para la obtención de bebidas como el tequila, implica la generación de grandes cantidades de bagazo y vinazas (además de lo que se conoce como mieles amargas). En el caso de las vinazas, son un residuo líquido generado después de la destilación en el proceso de obtención del tequila. Algunas de sus principales características son presentar una alta concentración de materia orgánica en suspensión y un pH bajo, así como un color café oscuro por la presencia de compuestos fenólicos como taninos y ácidos húmicos (**López-López et al. 2010; López y Contreras, 2015**).

La industria tequilera es una actividad económica nacional e internacional importante, bajo la protección de la existencia de una región con Denominación de Origen, y es también considerada una de las industrias más contaminantes. En este sentido podemos decir que por cada litro de tequila producido, se generan 1.4 Kg de bagazo y entre 10 y 12 litros de vinazas (**López et al. 2010**). Estas cifras toman mayor relevancia si consideramos los datos de la materia prima requerida y de la producción del volumen de tequila en un periodo específico. Por

ejemplo, en el 2017, las industrias tequileras alcanzaron una producción de 271.4 millones de litros de tequila (CRT, 2017), entonces, se estima una generación de 2,700 millones de litros de vinazas y 4 millones de toneladas de bagazo de agave.

Generalmente, los residuos de la industria tequilera son descargados a cuerpos de agua y suelo sin previo tratamiento o un tratamiento inadecuado, comprometiendo los recursos naturales. Se estima que el 80% del volumen de las vinazas es descargado directamente en cuerpos de agua naturales, sistemas municipales de drenaje, o directamente en el suelo sin recibir un tratamiento adecuado previo. Estas descargas causan deterioros en diferentes grados a los cuerpos de agua que reciben, debido al bajo pH, la alta temperatura, así como por su elevada carga orgánica (López et al. 2010). Es importante destacar que los volúmenes de vinazas se asocian con una significativa cantidad de materia orgánica disuelta; por ejemplo, para un volumen de 2,270 millones de litros de vinazas se estima un contenido de 113,490 toneladas de materia orgánica medida como DBO, la cual sin tratamiento puede ser equivalente a la contaminación anual producida por una población de 6.2 millones de habitantes. Además, si consideramos que 1 Kg de DBO puede contaminar 200 m³ de agua limpia, entonces las 113,490 toneladas de DBO pueden contaminar un volumen aproximado de 22.7 Km³ de agua

limpia (López et al. 2010; Tchobanoglous et al. 2003).

Aunado a esta problemática, el color es un parámetro que se incluyó en la más reciente modificación de la norma en la materia (Proy-NOM-001-SEMARNAT-2017). El color café oscuro de las vinazas y la turbiedad están asociados a las altas concentraciones de sólidos suspendidos, moléculas melanoides y sustancias húmicas (Robles et al. 2012). Con estos antecedentes se realizó el proyecto "*Pruebas de validación tecnológica para la remoción de color en vinazas tequileras.*" El objetivo consistió en realizar pruebas de validación a nivel piloto para la remoción de color en vinazas tequileras considerando las condiciones experimentales de la patente "Proceso para degradar compuestos recalcitrantes presentes en el agua, No. 315205; exp.:MX/a/2007/008801."

La patente se basa en un proceso de oxidación avanzada mediante el cual el ozono molecular es catalizado con peróxido de hidrógeno (H₂O₂) para la degradación total de los compuestos orgánicos recalcitrantes presentes en el agua. El tiempo de oxidación o tratamiento es corto para lograr la total degradación de los compuestos recalcitrantes, comparado con otros procedimientos de tratamiento por oxidación avanzada.

La metodología aplicada para la eliminación de color y reducción de DQO en vinazas tequileras permitió que el color se redujera en más del 90% y se realizó en tiempos relativamente cortos; el principal agente oxidante, el ozono, se generó *in situ*; se incrementó el oxígeno disuelto del efluente tratado; finalmente el proceso no generó lodos residuales que requieran un manejo o tratamiento especial, en consecuencia no existen costos adicionales para el tratamiento y disposición de lodos (Figura 3.10).



Figura 3.10. Sistema de ozonación a nivel piloto para la validación tecnológica en pruebas de remoción del color de vinazas tequileras.

En este sentido, se estará protegiendo los cuerpos de agua, la vida acuática, y los recursos naturales en general. Esta tecnología podría ser aplicada a otro tipo de efluentes después de previo estudio de sus características fisicoquímicas y de tratabilidad. La tecnología aplicada en la remoción de color en vinazas tequileras evitará en lo consecuente pagar multas por incumplimiento de los límites permisibles de color de acuerdo a la

normatividad vigente. La Figura 3.11 permite apreciar de manera cualitativa la reducción de la coloración de las vinazas tras la aplicación de una dosis de ozono.

Otro proyecto ejecutado y relacionado con la utilización del agua residual de un proceso productivo fue el denominado como *"Formulación y validación a nivel piloto de un fertilizante obtenido del aprovechamiento de subproductos (líquidos) de la sangre bovina"* (PEI-CONACYT-Empresa).



Figura 3.11. Ejemplo cualitativo de la disminución del color tras las pruebas de tratabilidad con ozono a nivel piloto.

Los desechos animales generados del proceso industrial del sacrificio de animales de corral como los bovinos pueden ser usados en la producción de biofertilizantes. Estos desechos abarcan tejidos duros como huesos, cuernos, uñas, pelo y otros, ricos en proteínas fibrosas derivadas del colágeno y la queratina, o incluso desechos con un alto contenido de nitrógeno, tal como en el caso de la sangre. Estos desechos con el adecuado tratamiento son una buena alternativa para la elaboración de biofertilizantes (entre otras aplicaciones) que

tras su uso permiten reducir el deterioro de los suelos e incentivar el aumento de sus rendimientos en las cosechas. Estos biofertilizantes son biodegradables y pueden ser de bajo costo. En el caso particular de la sangre de bovino, es un medio de cultivo que detona el crecimiento de las bacterias que contaminan las aguas residuales de los mataderos, además de generar olores desagradables al descomponerse en las lagunas de sedimentación y oxidación. Es por esto que el aprovechamiento de este residuo industrial como materia prima para la elaboración del fertilizante (y otros productos) contribuye a disminuir impactos negativos ambientales, además de propiciar su reincorporación a la cadena de productos con valor agregado, impulsando así un desarrollo económico.

Dentro de este tipo de desechos con potencial de aprovechamiento, la sangre bovina es la de mayor volumen de generación en los rastros ganaderos. La sangre entera usualmente forma parte de las aguas residuales al fluir hacia las plantas de tratamiento de los rastros, o peor aún hacia los sistemas de alcantarillado municipales formando así parte de los efluentes domésticos, o hasta como descargas directas sin tratamiento a cuerpos de agua superficiales como ríos.

Incluso aún tras la obtención de productos de valor agregado por su transformación, tal es el caso de la obtención de harina de sangre como

complemento alimenticio para distintas especies de animales de corral y especies domésticas, la sangre continua generando desechos líquidos. La Figura 3.12 es un diagrama que permite ejemplificar el proceso de obtención de harina de sangre y la generación de residuos como el “soluble de sangre” y una cantidad importante de aguas residuales.

El objetivo principal del proyecto fue darle un valor agregado al “soluble de sangre” de los rastros. Esto se consiguió al obtener un biofertilizante a partir de los residuos generados durante la obtención de harina de sangre, el cual se caracteriza por sus altos niveles de nitrógeno.

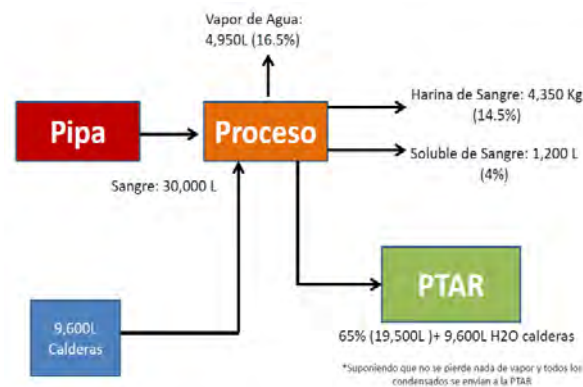


Figura 3.12. Proceso de producción de harina y soluble de sangre (plasma).

Experimentalmente se realizaron pruebas para la caracterización bromatológica y química del soluble de sangre, así como de su contenido de nitrógeno. La Tabla 3.2 muestra los resultados obtenidos en este proyecto, se refleja un alto contenido de materia orgánica (expresada como DBO) con una elevada contribución de material

proteico. Asimismo, se realizaron pruebas térmicas para evaluar el recobro del nitrógeno a partir del soluble de sangre con distintos niveles en el pH.

El biofertilizante obtenido demostró la capacidad de inducir el crecimiento de algunas hortalizas (lechuga, jitomate, pimiento y rábano), con resultados semejantes en el desarrollo de las plantas, cuando se comparó con fertilizantes inorgánicos convencionales.



Figura 3.13. Evaluación de los beneficios en diferentes hortalizas en a.-jitomate y b.-pimiento, del biofertilizante líquido; c.- Aspecto físico del biofertilizante líquido obtenido a partir del soluble de sangre.

Tabla 3.2. Caracterización general del soluble de sangre

Parámetro	Unidades	Valor
DBO ₅	mg/L	586.4
Proteínas	% p/p	24.45
Humedad	% p/p	70.66
Cenizas	% p/p	4.36
Grasa	% p/p	0.2
Fibra	% p/p	0.3

La Figura 3.13 muestra las características físicas del biofertilizante obtenido y algunas imágenes de las plantas de hortalizas en las que se llevaron a cabo pruebas de eficiencia en el crecimiento. La ventaja de este biofertilizante es que fue elaborado a partir de sangre de bovino y es biodegradable por los suelos después de ser asimilado. Esta estrategia de aprovechamiento del soluble de sangre permite por una parte evitar tirar este residuo líquido a cuerpos de agua naturales o a suelos de cultivo, reduciendo su contaminación en ambos casos. Además de contribuir a devolver la fertilidad que muchos suelos han perdido.

Un proyecto recientemente aprobado es el llamado "Sistema de eliminación simultánea de amoníaco, metano y ácido sulfhídrico para optimizar el tratamiento de aguas residuales" (CONACYT-Problemas Nacionales). El objetivo del proyecto es instalar un reactor de membrana a escala laboratorio para evaluar la oxidación anaerobia de metano y la remoción simultánea de amoníaco y ácido sulfhídrico disueltos en el efluente líquido proveniente de un filtro/digestor anaerobio. En el caso del metano, este es un gas de interés ambiental por considerarse de efecto invernadero (con un efecto 20 veces mayor al del CO₂), y que es producido en aquellas plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que cuentan con un digestor anaerobio como parte de su tren de tratamiento.

La meta del proyecto es aumentar el nivel de desarrollo de tecnología para el tratamiento de aguas con la posible integración a un sistema pasivo de bajo consumo energético y de materiales. El potencial impacto que pretende el proyecto es mejorar la calidad del agua residual tratada en un sistema compacto que disminuya los requerimientos de espacio de un sistema de tratamiento pasivo de aguas residuales.

Otro proyecto relacionado con el aprovechamiento de las aguas residuales es "Utilización de efluentes agroindustriales para la producción continua de acarreadores de energía sustentable: un estudio de prospección y optimización" (CONACYT-Fondo Problemas Nacionales). El objetivo del proyecto fue evaluar y optimizar la producción continua de hidrógeno y biogás a nivel laboratorio usando diferentes tipos de aguas residuales agroindustriales como sustrato.

Como sustrato se seleccionó el suero de leche, es la parte líquida de la leche que se obtiene después de la separación de la cuajada durante la elaboración del queso. El lactosuero contiene una elevada carga orgánica (rica en lactosa) que puede ser aprovechada en la generación de hidrógeno, regularmente estos residuos no son aprovechados y son descargados sin tratamiento, lo que representa un problema ambiental afectando fuentes de agua subterráneas y superficiales, y suelos (Cury et al. 2014).

La evaluación de la producción de hidrógeno se hizo a partir del suero de leche, nutrientes y un inóculo lodo granular anaerobio proveniente de un reactor de tipo UASB para el tratamiento de vinazas de una casa tequilera ubicada en Tequila, Jalisco. La caracterización del lactosuero se muestra en la Tabla 3.3.

Las cinéticas de producción de hidrógeno son presentadas en la Figura 3.13 donde la línea continua corresponde al modelo ajustado con la ecuación de Gompertz y la línea punteada es la cinética real de cada concentración de lactosuero estudiada (5, 7, 10 y 20 g DQO/L).

Tabla 3.3. Caracterización fisicoquímica del suero de leche

Densidad	1,018.75	kg/m ³
pH	6.34	-
Acidez	1,125 ± 35	mg CaCO ₃ /L
DQO	108,500 ± 4,769	mg O ₂ /L
DBO5	47,349.00	mg/L
Sólidos Totales	77,355.6 ± 0.40	mg/L
Sólidos Totales Volátiles	54,288.9 ± 0.33	mg/L
Azúcares Totales	30,390.33 ± 3,544	mg Dextrosa/L
Nitrógeno Total	558.33 ± 72	mg N/L
Carbono Total	28,277	mg C/L
Carbono Orgánico Total	26,375	mg C/L
Fosforo Total	640.83 ± 12.33	mg PO ₄ ³⁻ /L

Los resultados muestran que por cada litro de suero de leche se pueden obtener 7.39 L de H₂ (0.6642 g de H₂). Este sustrato puede ser utilizado directamente sin necesidad de recibir

un pretratamiento, ello permite aumentar el beneficio frente al costo de producción (Ladrillero, 2018).

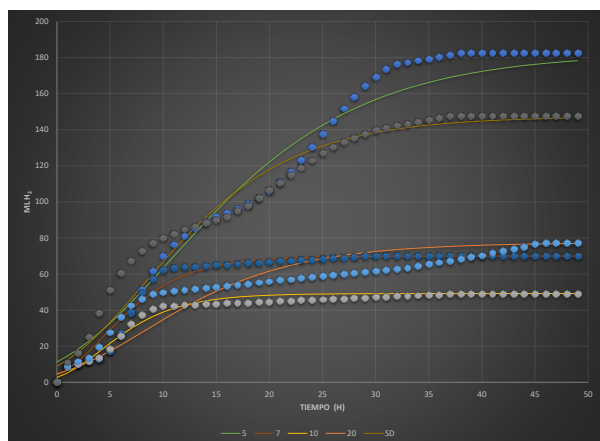


Figura 3.13. Cinética de la generación de hidrógeno a partir de lactosuero de leche, bajo distintas condiciones experimentales (5, 7, 10 y 20 en g DQO/L).

Entre los principales impactos del proyecto podemos mencionar, generar conocimiento relacionado con la producción de biohidrógeno a partir de residuos agroindustriales de la región como son suero de leche, vinazas, café, entre otros. Se pretende que estas investigaciones, además de formar recursos humanos y conocimiento de vanguardia, permitan a las empresas de la región reducir el impacto ambiental de sus residuos y rentabilizar sus procesos al aprovechar energéticamente los residuos generados.

En los últimos 3 años, los proyectos asociados a la sub-línea de investigación la han fortalecido y

orientado sus acciones a solucionar el impacto ambiental que ocasiona la contaminación de aguas residuales agroindustriales, a través de tecnologías que involucran procesos biotecnológicos que generan biogás de alto valor energético que permitiría su aprovechamiento como fuente de energía para el mismo proceso productivo o bien otros procesos productivos paralelos. Asimismo este biogás podrá aprovecharse en la producción de energía eléctrica. En la actualidad se desarrollan 2 proyectos de desarrollo científico de la convocatoria de Problemas Nacionales sobre el tratamiento de aguas residuales agroindustriales particularmente sobre la aplicación de la digestión anaerobia en diferentes reactores y producción de metano e hidrógeno como fuentes alterna de energía. En específico, un estudio de prospección y optimización sobre la utilización de efluentes agroindustriales para la producción continua de acarreadores de energía sustentable. Asimismo se colabora en el Clúster de Biocombustibles Gaseosos, del Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía impulsado por la Secretaría de Energía. En el clúster se desarrollarán alternativas de tratamiento para los efluentes y residuos de la industria tequilera y obtener como subproductos metano e hidrogeno. Estos proyectos son de gran relevancia tecnológica, social y económica, pues tienen dos vertientes simultáneas, el tratamiento de agua residual y la generación de fuentes alternas de energía, dos temas prioritarios a nivel nacional.

Referencias

CRT-Consejo Regulador del Tequila. (2017). Consultado en: <https://www.crt.org.mx/>

Cury, R.K., Arteaga, M.M. & Martínez, F.G. (2014). Evaluation of acid whey fermentation (whole and deproteinized) using *Lactobacillus casei*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, XVI: 137-145

Flores, P.V., León, B.E., López, L.A. & Vallejo, R.R. (2017). A Novel Real Time Method Using The Stopped-Flow for Evaluating Bisphenol-A Degradation Kinetics by Molecular Ozone and Radical Mechanisms. *Chemical Engineering Communications*, 204(10): 1113-1121

Kolhe, A., Sarode, A. & Ingale, S. (2009). Study of effluent from sugar cane industry. *International Research Journal*, ISSN-0974-2832, 303-306

Ladrillero, A.H. (2018). Fermentación oscura del suero de leche para la producción de hidrógeno. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara. Pp. 56

León B.E., García, C.J.E., Del Real, O.J. & López, L.A. (2016). Performance of an upflow anaerobic filter in the treatment of cold meat industry wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, 102: 385-391

López, L.A., Dávila, V.G., León, B.E., García, V.E. & Gallardo, V.J. (2010). Tequila vinasses: generation and full-scale treatment processes. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 9: 109-116

López, L. A., León, B.E., Rodríguez, G.E. & Villegas G.E. (2012). Informe técnico del proyecto "Desarrollo tecnológico de un sistema de tratamiento para aguas residuales de la industria cárnica". PEI-CONACYT, pp. 83.

López, L.A., Albarrán, R.M.G., Hernández, M.L. & León, B.E. (2013). An assessment of an anaerobic filter packed with a low-cost material for treating domestic wastewater, *Environmental Technology*, 34(9): 1151-1159

López, L.A. & Contreras, R. S.M. (2015). Tratamiento de efluentes y aprovechamiento de residuos. En: *La ciencia del Tequila*: 343-378, Editores: Gschaedler-Mathis A.C.; Rodríguez-Garay B. Prado-Ramírez R. Flores-Montaño J.L. Editorial LOGINPRINT DIGITAL ISBN: 978-607-96619-8-4

López, R.A. (2018). Evaluación de un Sistema de tratamiento de aguas residuales de un ingenio azucarero del estado de Veracruz usando humedales artificiales. Tesis de Maestría. PICYT-CIATEJ. Pp. 167

Méndez, R.D.C., López, L.A., Vallejo, R.R. & León, B.E. (2011). Hydrodynamic and kinetic assessment of an anaerobic fixed-bed reactor for slaughterhouse wastewater treatment. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50: 273-280

NOM-001-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Diario Oficial de la Federación*, México, 1-33

NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. *Diario Oficial de la Federación*, México, 1-9

NOM-003-SEMARNAT-ECOL-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. *Diario Oficial de la Federación*, México, 1-8

NOM-001-SEMARNAT-2017 (Proyecto). Proyecto de la modificación de la Norma Oficial Mexicana. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la Nación. *Diario Oficial de la Federación*, México, 1-39

Robles, G.V., Galíndez, M.J., Rinderknecht, S.N. & Poggi, V.H.M. (2012). Treatment of mezcal vinasses: A review. *Journal of Biotechnology*, 157: 524-546

Tchobanoglous, G., Burton, F.L. & Stensel, H.D. (2003). *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. Metcalf & Eddy, Inc. 4 edition. New York: Mc Graw Hill.

Vallejo, R.R., López, L.A., Saldarriaga, N.H., Murillo, T.M. & Hernández, M.L. (2011). Optimization of analytical conditions to determine steroids and pharmaceuticals drugs in water samples using solid phase-extraction and hplc, *American Journal of Analytical Chemistry*, 2: 863-870

Vallejo, R.R., Saldarriaga, N.H., Murillo, T.M.A., Hernández, M.L. & López, L.A. (2012). Compuestos emergentes: implementación de métodos analíticos para extraer y cuantificar 17 β -estradiol, 17 α -etinilestradiol, ibuprofeno y naproxeno en agua, *Tecnología y Ciencia del Agua*, 3: 101-110

Vallejo, R.R., Murillo, T.M.A., Navarro, L.J., León, B.E. & López, L.A. (2014). Assessment of the kinetics of oxidation of some steroids and pharmaceutical compounds in water using ozone. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2: 316-323

Vallejo-Rodríguez, R., Sánchez-Torres, P.B., López-López, A., León-Becerril, E., Murillo-Tovar, M. (2018). Detection of Steroids in Tap and Drinking Water Using an Optimized Analytical Method by Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Expo Health*, 10: 189-199

CAPÍTULO IV

MANEJO INTEGRAL

DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES



La sub-línea de investigación de manejo integral de residuos agroindustriales se orienta al aprovechamiento de los residuos agroindustriales y urbanos, mediante tecnologías convencionales y el desarrollo de tecnologías innovadoras. Con esto se busca la conversión de los residuos en energía, en poder fertilizante y en procesos biotecnológicos que generen subproductos con valor agregado, logrando así una economía circular en la gestión de residuos.

En esta sección se mencionan a manera de ejemplos algunos proyectos realizados en esta sub-línea a lo largo de estos últimos 10 años, incluso de algunos proyectos que se realizaron antes de conformar oficialmente la sub-línea de investigación.

En el año 2004, uno de los primeros proyectos ejecutados sobre el aprovechamiento de residuos orgánicos y la obtención de subproductos con valor agregado, fue el denominado como "*Determinación de la factibilidad del empleo de la cascara de plátano para obtener un cicatrizante*".

El proyecto surgió con una empresa farmacéutica privada y el CIATEJ con base a antecedentes del uso de la especie *Musa paradisiaca* var. *Macho* (plátano macho, Figura 4.1). Esta especie de plátano proviene de Asia y se le atribuyen propiedades relacionadas con el control de la presión arterial (en poblados de Japón); también en algunas islas del Caribe y en la India se le emplea para fortalecer el sistema

digestivo y como parte de los tratamientos contra lesiones ocasionadas por el herpes. En el caso de nuestro país, se emplea para evitar infecciones en heridas, e incluso hay evidencia de que las cáscaras son empleadas en caso de quemaduras en la piel, siendo esta última propiedad una de las más interesantes en su estudio.

El proyecto planteó la obtención de un cicatrizante a partir de la cáscara del plátano macho que es un residuo sin valor agregado y evaluar el poder de cicatrización de heridas comparado con un cicatrizante comercial. Esto fue validado en ratones en pruebas *in vivo* (Figura 4.1).

El procedimiento experimental comenzó con la aplicación de anestesia a los roedores, lo que permite hacerles una herida dorso lumbar en la piel y tejido celular cutáneo de aproximadamente dos centímetros de longitud.



Figura 4.1. Imágenes de *Musa paradisiaca* var. *Macho* y de su cáscara como materia prima para la obtención de extractos orgánicos para su aplicación en pruebas de cicatrización en roedores.

Los resultados demostraron que las heridas en ratones cicatrizan de manera externa entre los 15 y 17 días, con la regeneración de tejido utilizando extractos de la cáscara de plátano, siendo igual o mayor que la capacidad cicatrizante del producto comercial evaluado.

La investigación desarrollada en este proyecto permitió generar el extracto orgánico de cáscara de plátano en presentaciones de forma de crema o gel, explorando así su posible comercialización.

De esta manera, el impacto de este proyecto radicó en determinar la viabilidad del uso de la cascara de plátano para la obtención de un cicatrizante y la exploración de su producción para su explotación comercial.

Otro de los proyectos realizados en la UTAM fue el "*Diagnóstico de generación y caracterización de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) generados en 11 municipio de la región Altos Jalisco*". Este proyecto plateó como objetivo conocer la cantidad y tipo de RSU que se generan en cada uno de los municipios de dicha región de Jalisco, para valorar la factibilidad de establecer un relleno sanitario regional. Además de plantas de reciclaje y la comercialización de los RSU con la inversión de empresas privadas. En este caso sólo se menciona una parte de los resultados de los municipios considerados en este proyecto.

Para la determinación de la generación *per cápita* de los RSU, se realizó un muestreo

aleatorio en viviendas tanto de las áreas urbanas (cabeceras municipales) como en algunas localidades rurales, por lo que en el muestreo se consideraron dos tipos de estratos o niveles socioeconómicos, el Urbano y el Rural. Esta clasificación se realizó con el objetivo de verificar las diferencias en cuanto al volumen y tipo de residuos que se generan en estos estratos socioeconómicos.

El muestreo se llevó acabo de acuerdo a los criterios establecidos por la normatividad en la materia (**Norma Mexicana NMX-AA-61-1985**), la cual se establece realizar un muestreo estadístico de tipo aleatorio que involucre un número representativo de viviendas, muestreadas durante ocho días, en cada uno de los estratos socioeconómicos identificados en la población.

La Figura 4.2 muestra parte de los resultados del proyecto al incluir las cifras de generación *per cápita* por municipio (Kg/habitante/día) y estrato social (Urbano y Rural), de seis de los municipios de estudio. Puede apreciarse como existe una ligera tendencia de menor generación de RSU en las viviendas rurales de todos los municipios. Municipios como Jalostotitlán, Atotonilco y San Julián generan importantes cantidades de RSU de tipos distintos a los residuos domésticos. Esto indica la intensidad de otras actividades y sectores en la generación de RSU y que podrían ser sujeto de futuras caracterizaciones.

Adicionalmente en el proyecto se caracterizaron los RSU que se generaron en los municipios de estudio, bajo las Normas Mexicanas **NMXAA-015-1985** y **NMX-AA-022-1985**, para su separación y clasificación. La Figura 4.3 ejemplifica las distintas etapas y actividades relacionadas con la caracterización de los RSU.

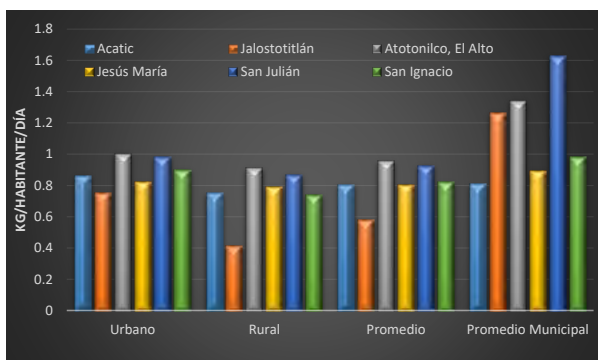


Figura 4.2. RSU en su generación *per-cápita* en seis municipios de la región de los Altos de Jalisco. Existen ligeras tendencias de menor generación de RSU en los estratos rurales respecto de los urbanos, y de mayor generación de RSU si se consideran los promedios municipales.



Figura 4.3. Etapa de la caracterización de los RSU en el municipio de Acatic. a.- Homogenización de los RSU; b.- Método de cuarteo; c.- Clasificación y separación de los subproductos y d.- Pesaje de subproductos (en este caso residuos de alimentos).

La tabla 4.1 resume la mayor parte de la información en torno a los resultados de la caracterización de los RSU en los seis municipios. Los RSU más frecuentes son residuos de alimentos, PET, residuos de jardín, vidrio transparente, plástico de película, papel y pañales desechables, cuyas contribuciones varían según los distintos municipios y estratos.

Tabla 4.1. Resultados de la caracterización de los RSU en diferentes municipios de la región de los Altos, Jalisco.

	Urbano	Rural
Acatic	PET, Residuos de jardín y Papel	Residuos de alimentos, PET y Vidrio transparente
Jalostotitlán	Residuos de alimentos, Pañales desechables y Residuos de jardín	Residuos de alimentos, PET y Vidrio transparente
Atotonilco, El Alto	Residuos de alimentos, Vidrio transparente y Plástico de película	Residuos de alimentos, Residuos de jardín y Plástico de película
Jesús María	Residuos de alimentos, Plástico de película y Pañales desechable	PET, Residuos de alimentos y Papel
San Julián	Residuos de alimentos, PET y Vidrio transparente	Residuos de alimentos, Vidrio transparente y Papel
San Ignacio	Residuos de alimentos, Plástico de películas y Vidrio transparente	Residuos de alimentos, Pañales desechables y PET

Este proyecto tuvo como impacto la generación de la información básica para la toma de decisiones para el establecimiento de un relleno sanitario regional, así como el establecer un programa de separación de RSU, plantas de reciclado y la comercialización de algunos de los tipos de residuos en función de su abundancia.

Continuando con proyectos de esta naturaleza, en la UTAM se desarrolló el proyecto "Estudio técnico para la identificación de materiales con potencial reciclable para su posible estrategia de comercialización." Este proyecto fue desarrollado para los municipios de Acapulco y Chilpancingo, del estado de Guerrero.

Estos municipios cuentan con 789,706 y 240,727 habitantes, respectivamente (**INEGI, 2010**). Y son los municipios de mayor concentración poblacional del estado. La generación de RSU depende en gran medida del número de habitantes, los estratos socioeconómicos y los patrones de consumo asumidos por la población, y su problemática se refleja en las prácticas de manejo y disposición final de los mismos (**BID-OPS, 1997**).

Este proyecto tuvo relevancia debido a que sólo el 2.4% del volumen de los residuos generados se recicla; sin embargo, el volumen con posibilidad de reciclaje pudiera llegar al 12% reduciendo considerablemente los destinados al confinamiento (**SEDESOL, 2005**). Los materiales considerados como reciclables, por orden de importancia en términos del volumen, son los productos de papel, vidrio, metal (aluminio, ferrosos y otros no ferrosos), plástico y los textiles.

Además, el monto invertido en la recolección constituye entre el 70% y 85% del costo total del manejo de los residuos sólidos y, a su vez, el costo de mano de obra representa del 60% al 75% del costo de la recolección (**SEMARNAT, 2005**).

La Secretaría del Medio ambiente y Recursos Naturales (SEMAREN) en el Estado de Guerrero, ante esta problemática vio la necesidad de tener información de la caracterización de los RSU, de la generación *per-cápita* de RSU y de los

volúmenes de los materiales generados con potencial reciclable, para así tener elementos para captar la atención de empresas recicladoras hacia el Estado.

De esta manera, el proyecto tuvo como objetivos generar información de la caracterización y diagnóstico de los RSU y la generación *per-cápita* en los municipios referidos, durante dos temporadas: de baja y de alta afluencia vacacional, utilizando la normatividad vigente en la materia (**NMXAA-015-1985 y NMX-AA-022-1985**). Además, a solicitud de la SEMAREN, se aplicó la entonces propuesta a la modificación a la norma **NMX-AA-022-1985**, para clasificar a los RSU de manera más específica por el tipo de material del que están fabricados y no las habituales categorías de plásticos, metales, cartón, etc. Esto permitió generar información real de la cantidad y tipo de materiales con potencial de reciclado durante el periodo 2010-2012.

La Figura 4.4 ilustra estas actividades de muestreo, por cada municipio se muestrearon 200 viviendas de los estratos socioeconómicos bajo, medio y alto (determinados en criterios de bienestar como educación, ocupación, salud, vivienda y empleo).

En la Figura 4.5 se aprecia que en ambos municipios hubo una tendencia de menor generación de RSU en la temporada de afluencia vacacional baja. La caracterización de los RSU, indicó que los principales subproductos fueron los residuos orgánicos, los plásticos reciclables,

así como los residuos celulósicos, los residuos sanitarios e incluso los clasificados como otros valorizables (Figura 4.6).



Figura 4.4 Municipio de Chilpancingo: a) bolsa de residuos sólidos urbanos etiquetada por zona de la ciudad; b) Pesada por grupo de bolsas muestreadas por estrato socioeconómico; c) Separación para la cuantificación de los residuos sólidos generados durante 8 días. Municipio de Acapulco: d) Separación por estrato socioeconómico de las bolsas recolectadas, e) Determinación del peso de las bolsas para obtener la generación *per cápita*, f) Separación y cuantificación de las fracciones de los residuos sólidos urbanos.

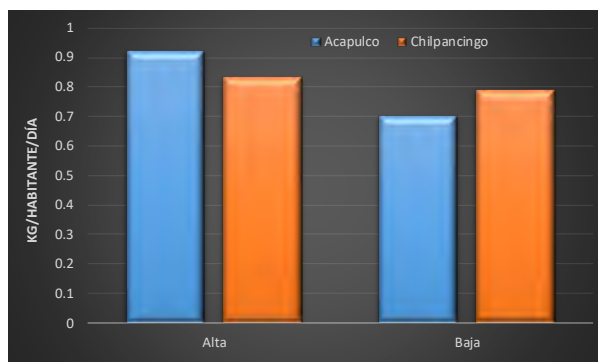


Figura 4.5. Determinación de la generación de RSU expresada en Kg/habitante/día para los municipios de Acapulco y Chilpancingo; los datos son promedios totales considerando dos periodos de alta y baja afluencia vacacional.

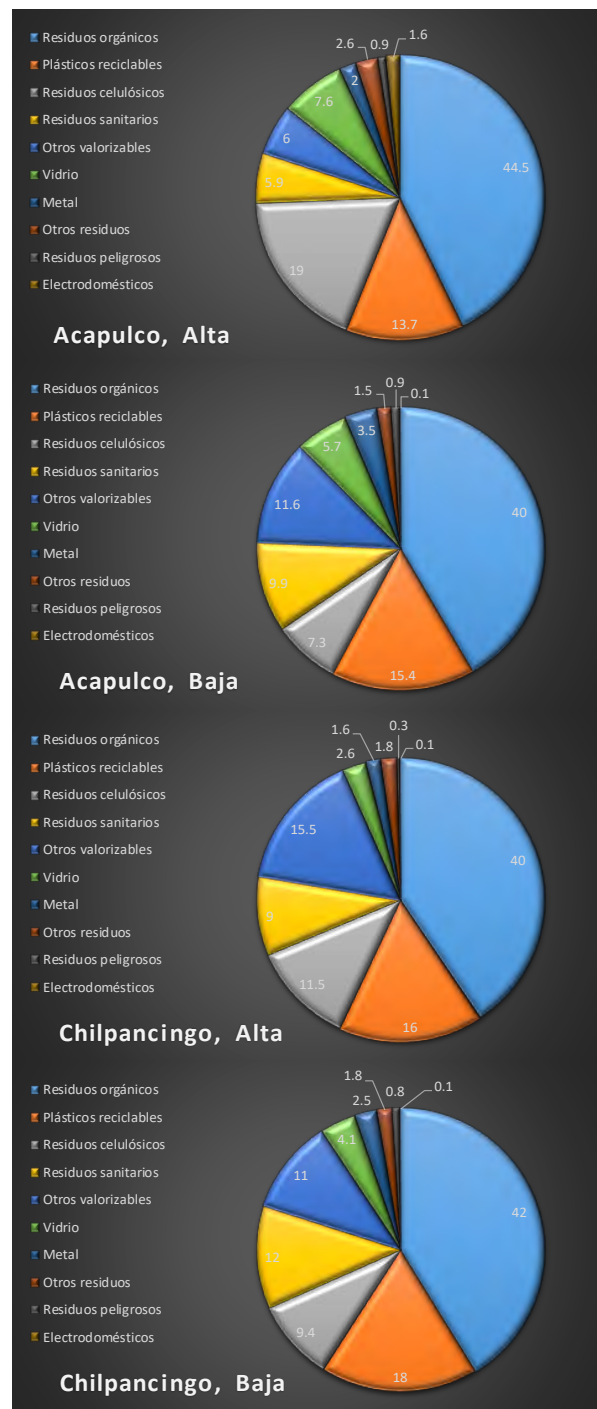


Figura 4.6. Contribución porcentual de los diferentes subproductos que conforman los RSU de Acapulco y Chilpancingo, en los periodos de confluencia vacacional alta y baja.

Con la información generada en este proyecto y relacionada con aspectos de reciclado, así como de comercialización de los RSU, se encontró que el PET por la cantidad generada podría

representar 14 millones de pesos por su venta como reciclado para Acapulco, mientras que para Chilpancingo sería los 5 millones de pesos recuperados por el municipio. Esto siempre que se comercializara el PET limpio, ya que existe un precio de compra inferior si este material llega sucio a los centros de acopio.

Mientras que en el caso de los materiales celulósicos (conjunto de cartón, papel y revistas), la recuperación económica podría alcanzar los 20 millones en Acapulco y alrededor de 6 millones para Chilpancingo. De esta manera, los principales impactos del proyecto radicarón en determinar la viabilidad del establecimiento de un programa de separación de RSU, así como del establecimiento de plantas de reciclaje y de la comercialización de algunos de los tipos de residuos.

Otro enfoque de aprovechamiento potencial de los RSU es la obtención de energía vía su poder calorífico, el cual se abordó en el proyecto de *"Diagnóstico de generación y caracterización de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) generados en el Municipio de Arandas Jalisco"*.

El municipio de Arandas genera en términos de RSU 70.34 toneladas por día, lo que equivale al 0.94% del total generado a nivel estatal y la tasa de generación estimada *per-cápita* es de 1.036 Kg/habitantes/día (SIEG, 2012). El sistema de aseo público encargado del manejo de los RSU en el municipio, una vez que ha recolectado

estos residuos los transporta directamente a un vertedero a cielo abierto, ya que no se cuenta con una planta de transferencia. Así mismo, tampoco se realiza tratamiento a los residuos sólidos generados.



Figura 4.7. a.-Vertedero a cielo abierto en el municipio de Arandas, el cual puede apreciarse al fondo de la imagen; b.- Personal del CIATEJ en el muestreo de los RSU en el Municipio de Arandas. La caracterización de los RSU de esta población ha sido objeto de estudio en dos proyectos distintos. En esta ocasión se buscaba contar con información sobre la factibilidad del empleo de los RSU como material combustible en la generación de electricidad.

En la actualidad se tiene conocimiento de que Arandas aún no tiene un nuevo relleno sanitario y el problema del manejo adecuado de los RSU continúa

<https://semadet.jalisco.gob.mx/prensa/>).

Ante esta situación una empresa de la iniciativa privada con experiencia en la obtención de energía a partir de los RSU, se acercó a CIATEJ para solicitar un "Estudio de la composición física de los RSU y adicionalmente pide se incluyan análisis químicos de composición y fisicoquímicos, así como del contenido de energía." Con el objetivo de generar información que permitiera conocer la cantidad y tipo de RSU que se producen en el municipio de Arandas, y de los depositados años atrás en el vertedero municipal; a fin de valorar la factibilidad de su empleo en la generación de energía calorífica.

En esta ocasión la UTAM participo de la caracterización de los RSU obtenidos directamente de las unidades de recolección del municipio y de los residuos localizados en distintos puntos del vertedero.

Para generar los datos requeridos, fue necesario llevar a cabo distintas actividades habituales de muestreo, clasificación y pesado de tipos de RSU (acorde a los criterios apegados a las normas en la materia y que han sido descritos en algunos de los anteriores proyectos). La Figura 4.7 ilustra algunas de estas actividades en el vertedero municipal.

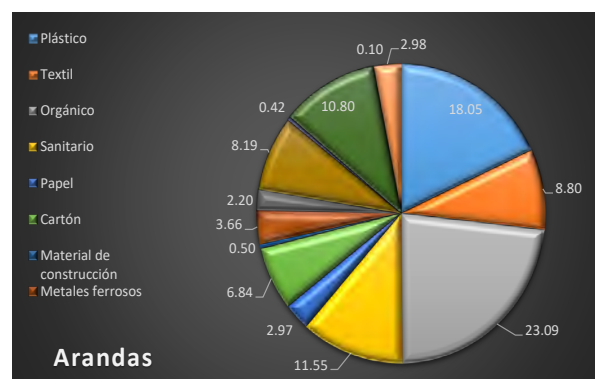


Figura 4.8. Resultados de la caracterización de los RSU a partir de muestreos sistemáticos.

La Figura 4.8 muestra una parte de los resultados de la caracterización de los RSU del municipio de Arandas. Los residuos de mayor generación son los orgánicos (23%), los plásticos con potencial reciclable (18%), seguidos de los residuos sanitarios (11%) y materiales como papel y cartón (10%).

El análisis de los RSU depositados en el vertedero de años atrás, permitió determinar su contenido de humedad (un promedio del 15%), y poder calórico. La Figura 4.9 ilustra la obtención de muestras de la parte profunda del vertedero a cielo abierto, las cuales se componen de RSU más antiguos.

Este proyecto y sus resultados tuvieron un impacto al generar información básica para la toma de decisiones de la empresa, referente a la viabilidad del proyecto de aprovechamiento de los RSU en la generación de energía.



Figura 4.9. Muestreo de los RSU más antiguos en el vertedero a cielo abierto del municipio de Arandas.

En años recientes (2013-2018), se ha buscado realizar proyectos con valor agregado para transformar residuos agroindustriales para diferentes aplicaciones de sectores productivos, haciendo uso de otras herramientas como la biotecnología. En este intervalo de tiempo se desarrolló el proyecto denominado *"Paquete tecnológico para la producción de un inóculo de bacterias benéficas para cultivos orgánicos y su validación a nivel invernadero"* en vinculación con una empresa de la iniciativa privada.

Este proyecto se planteó con varios objetivos, siendo estos la identificación y aislamiento de bacterias benéficas para cultivos; la formulación

y producción de un inóculo con las bacterias benéficas seleccionadas, así como pruebas en cultivos específicos, tal es el caso de los pepinos orgánicos a nivel invernadero. Además de evaluar la viabilidad de escalado de producción del inóculo a nivel piloto e industrial para su comercialización.

El aislamiento e identificación molecular de bacterias benéficas o promotoras de crecimiento de plantas fueron la base de este proyecto para formular un consorcio que funcionará como biofertilizante o inoculante en la agricultura orgánica. Realizando pruebas de concepto como la validación a nivel de invernadero en agricultura protegida bajo condiciones reales y el diseño de una planta piloto para producción del consorcio.

Se logró obtener una formulación del consorcio en presentación líquida que se puede aplicar durante los diferentes estadios fisiológicos de la planta (germinación, trasplante, crecimiento y producción) (Figura 4.10). El consorcio bacteriano ofrece a las plantas una mayor disponibilidad de nutrientes, favorece la solubilización de fósforo lo que permite que su absorción por las raíces sea más eficiente, induce la producción de fitohormonas y sideróforos (compuestos que secuestran metales), además propician la fijación y oxidación de nitrógeno a formas disponibles para la planta. Todo esto permite que las plantas tengan mayores alturas y un elevado rendimiento en >20% en diferentes cultivos

como pepino orgánico y otros cultivos como frijol, cebolla, pimiento, arándano, etc.

En este proyecto se generó propiedad intelectual con una solicitud de patente (MX/a/2015/015919) ante el IMPI (Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial), y la tecnología desarrollada fue Ganadora del Premio Jalisco en Ciencia, Tecnología e innovación edición 2015-2016 en la categoría *Innovación*. Actualmente la empresa ya la utiliza en sus propios cultivos agrícolas con un aumento en ventas del 20% y en utilidades del 7%, una disminución del 10% de consumo de fertilizante y 5% de insumos para control biológico y como consecuencia un impacto ambiental positivo. Además, es una tecnología transferible bajo el esquema de licenciamiento.



Figura 4.10. Aislamiento de los microorganismos o bacterias benéficas que conformaron el inóculo y su aplicación en cultivos orgánicos de pepino en invernadero, su aplicación puede ser en cualquier etapa del desarrollo.

El empleo de inóculos de esta naturaleza contribuirá al menor uso de fertilizantes inorgánicos, que en muchas ocasiones se usan de forma desmedida y pueden afectar la productividad del suelo o bien propiciar la contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

Otro de los proyectos realizados en la UTAM sobre el aprovechamiento potencial de residuos agroindustriales, se ha enfocado en energías renovables y fue denominado "*Proceso avanzado de oxidación para incrementar la biodegradabilidad de material lignocelulósico para su uso potencial en la producción de biocombustibles.*"

En años recientes, se han producido biocombustibles a partir de materiales lignocelulósicos; cuya composición depende de la naturaleza del material, provocando una estructura compleja y rígida, por lo que el material es considerado recalcitrante. El material lignocelulósico está formado principalmente por tres polímeros: celulosa (20 a 55% de peso seco), hemicelulosa (16 a 85% de peso seco) y lignina (15 a 40% de peso seco), las proporciones varían dependiendo de su procedencia. La degradación de la lignina es difícil y protege a la celulosa y hemicelulosa, por lo que se considera un compuesto recalcitrante (**Arenas et al. 2017**).

La clave de explotar el valor del material lignocelulósico proveniente de los residuos

agroindustriales, es descomponer la matriz lignocelulósica con el fin de obtener moléculas más pequeñas que puedan ser utilizadas como materia prima para producir sustancias químicas o biocombustibles. El reto es proponer y utilizar técnicas de pretratamiento para romper la estructura cristalina de las moléculas lignocelulósicas y liberar los azúcares presentes en los polisacáridos celulósicos y hemicelulósicos, incrementando el volumen del poro y solubilizando la celulosa y hemicelulosa, permitiendo que posteriormente se aplique otro proceso para obtener distintos productos químicos o biocombustibles (**Arenas et al. 2017**).

Debido a la recalcitrancia, el material lignocelulósico no puede ser utilizado directamente en la producción de biocombustibles y es necesario aplicar un tratamiento; que permita modificar la estructura lignocelulósica, solubilizar o hidrolizar sus diferentes componentes y mejorar la biodegradabilidad del material para su uso subsecuente en la producción de biocombustibles.

El objetivo general fue analizar el efecto de la oxidación usando ozono (como pretratamiento) sobre material lignocelulósico proveniente de residuos agroindustriales, para su uso posterior en la producción de biocombustibles. La importancia del proyecto está en la obtención y transferencia de un proceso de tipo fisicoquímico utilizando ozono para el

pretratamiento de material lignocelulósico y su uso posterior en la producción de biocombustibles como etanol, metano o hidrógeno. Entre algunas de las ventajas de esta alternativa de pretratamiento podemos mencionar que es un proceso que ocurre a temperatura ambiente, *in situ*, no genera subproductos, ni la formación de inhibidores a procesos biológicos posteriores para la producción de biocombustibles (**Bule et al. 2013**).

El proyecto evaluó tres variables importantes en el pretratamiento, dosis de ozono, tamaño de la partícula de bagazo y humedad en bagazo de caña de azúcar. La Figura 4.11 muestra que para una humedad: del 40%, un flujo másico: 1.8 g O₃/h y un tamaño de partícula de 0.70 mm, se obtiene una conversión de azúcares como glucosa del 60% y de xilosa del 50%, con respecto al bagazo sin pretratamiento, que es tan sólo del 19% para glucosa.



Figura 4.11. Conversión de azúcares reductores después del pre-tratamiento de bagazo de caña de azúcar con ozono. SPT- Sin pre-tratamiento.

Se han realizado análisis de microscopia de escaneo láser confocal, así como análisis de cristalinidad para estudiar los cambios estructurales que tiene el bagazo de caña de azúcar después del pre-tratamiento con ozono. El proyecto antes descrito permitió el establecimiento de los parámetros operacionales y de diseño de un proceso de pre-tratamiento de residuos lignocelulósicos y la solicitud de una patente "Pre-tratamiento de residuos lignocelulósicos con ozono para incrementar el rendimiento de la sacarificación de azúcares reductores" (MX/a/2015/014521). En el ámbito ambiental fue posible darle un valor agregado al material lignocelulósico con la reducción del impacto ambiental derivado de la mala disposición de este tipo de residuos, ahorro de energía y emisiones. Socialmente hablando, una cadena de transformación del bagazo de caña para la producción de biocombustibles (etanol, metano o hidrógeno) permitiría la generación potencial de empleos en los lugares donde se genera este tipo de residuos.

En este 2018 el personal científico y de investigación de la UTAM se encuentra desarrollando el proyecto "*Producción de biometano para combustibles de transporte a partir de residuos de biomasa, Biometrans*". Este proyecto es de carácter internacional con la participación de investigadores destacados de Colombia, España, México, Perú y Uruguay.

El objetivo central del proyecto referido es la valorización de los residuos de biomasa residual

mediante la producción de biocombustibles de transporte, aplicando tecnologías y procesos innovadores de producción de biocombustibles que están próximos a su comercialización.

Las primeras actividades se enfocan al diagnóstico de los recursos de biomasa disponibles en Iberoamérica (caso de México), y la generación de información actual del estado del conocimiento en aprovechamiento de biomasa para producción de biogás en la Región Iberoamericana.

El potencial de la biomasa en México no ha sido cuantificado en forma integral, pero existen cifras sobre su valor en varios sectores. Su potencial energético bruto se ubica entre 3,000 y 4,500 Petajoules (PJ) por año, considerando madera de bosques naturales y de plantaciones forestales, subproductos agrícolas, cultivos energéticos y RSU. Estas cifras representan entre 45% y 67% de la oferta interna bruta de energía del año 2014 (**Huacuz-Villamar, 2015**). La Figura 4.12 permite observar los datos con los que se cuenta sobre las cifras de biomasa en nuestro país.

Para el 2015 el 15.36% de la energía generada corresponde a energías renovables y provienen de: 9.98% hidroeléctrica, 2.83% de eólica, 2.05% de geotérmica, 0.38% de bagazo, 0.06% de fotovoltaica y 0.07% de biogás. En el caso específico de la biomasa puede inferirse que este recurso aún no está siendo aprovechado en su totalidad, lo que abre una ventana de

oportunidad para desarrollar y perfeccionar tecnologías (de la producción de bioetanol y biodiesel) más eficientes en la transformación de este recurso (**Biometrans-Cyted, 2018a; Biometrans-Cyted, 2018b**).

Los impactos de este proyecto radican en que al estar involucradas cinco naciones de Iberoamérica, se promueve la formación de redes de colaboración permitiendo el intercambio de experiencias y conocimiento. Acelerar la transferencia de tecnología para impulsar el aprovechamiento de metano como bioenergético, principalmente con la finalidad de que sea utilizado en vehículos de transporte.

reportaron sólo como millones de toneladas (Mt/año).

Por último, estos fueron algunos ejemplos de los proyectos que se han desarrollado en los últimos años en la UTAM. La cual ha tenido una evolución desde su concepción y donde se están abordando diferentes temas de interés ambiental como la contaminación de suelos, agua, aire, así como buscando alternativas de tratamiento, remediación y recuperación de ecosistemas, con enfoques multidisciplinarios y transversales para atender los retos y problemas nacionales en materia ambiental.



Figura 4.12. Cifras de los diferentes tipos de residuos para México. Los valores están expresado en millones de toneladas de materia seca por año (MtMS/año), excepto para residuos agrícolas de cosechas, caña de azúcar para etanol, aceite de palma, *Jatropha curca* para biodiesel y residuo de ganado, las cuales se

Referencias

Arenas, C.P., López, L.A., Moeller, Ch.G.E. & León, B.E. (2017). Current Pretreatments of Lignocellulosic Residues in the Production of Bioethanol. *Waste and Biomass Valorization*, 8: 161-181

BID-OPS. 1997. Diagnóstico de la Situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe. Disponible en: <http://www.iadb.org/sds/doc/ENV107ARossin E.pdf>

Biometrans-Cyted (2018a). Producción de biometano para combustible de transporte a partir de residuos de biomasa. Tarea 1. *Diagnóstico de los recursos de biomasa disponible en Iberoamérica*. Pp. 148

Biometrans-Cyted (2018b). Producción de biometano para combustible de transporte a partir de residuos de biomasa. Tarea 2. *Actualización del estado del conocimiento en aprovechamiento de biomasa para producción de biogás en la Región Iberoamericana*. Pp. 127

Bule, M.V., Gao, A.H., Hiscox, B. & Chen, S. (2013). Structural modification of lignin and characterization of pretreated wheat straw by ozonation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61: 3916-3925

Huacuz, V.J.M. (2015). La biomasa en la transición energética de México, México: Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE).

INEGI-Instituto Nacional Estadística, Geografía e Informática. (2010). Censo de Población y Vivienda, 2010. Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv /2010/>

NMX-AA-015-1985. Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Muestreo-Método de Cuarteo. Dirección General de Normas, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. *Diario Oficial de la Federación*, México, 1-3

NMX-AA-022-1985: Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos

Municipales-Selección y Cuantificación de Subproductos. Dirección General de Normas, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. *Diario Oficial de la Federación*, México, 1-4

NMX-AA-61-1985: Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación de la Generación. Dirección General de Normas, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. *Diario Oficial de la Federación*, México, 1-13

SEDESOL. 2005. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México

SEMARNAT. 2005. Guía Indicadores básicos del desempeño ambiental en México. México

SIEG-Sistema de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. Gobierno del Estado de Jalisco. 2012. *Arandas. Diagnóstico del Municipio*. Secretaría de Planeación. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/articulos/cana-de-azucar-cierra-la-cosecha-2017-con-56-millones-de-toneladas?idiom=es>

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA



En la UTAM tenemos el propósito de generar conocimiento e innovación para el estudio, preservación y aprovechamiento racional de uno de los recursos naturales con mayor valor para la sociedad: el agua para consumo humano. Además de determinar su calidad a través de la medición de numerosos parámetros fisicoquímicos, se genera información que permitirá su utilización sostenible para que este recurso detone el crecimiento y desarrollo en las distintas regiones del país.

Como parte del quehacer científico de esta sub-línea de investigación, *Evaluación de la Calidad del Agua*, se han ejecutado proyectos sobre la calidad del agua en cuencas hidrológicas, así como estudios de calidad del agua en fuentes puntuales de abastecimiento humano. Todos estos proyectos y estudios si bien es cierto tienen objetivos particulares acordes a la solución de problemas específicos, coinciden en todo momento en buscar la generación de información valiosa que contribuya al manejo adecuado del recurso hídrico. A continuación se describen los principales proyectos desarrollados y algunos de sus hallazgos como parte de esta sub-línea de investigación en la UTAM.

El primer proyecto ejecutado en estos tópicos fue el de "*Desarrollo de un modelo de calidad del agua para la presa de Aguamilpa, Nayarit*". Entre algunos de sus objetivos podemos mencionar la estimación del balance hídrico en la cuenca de la presa Aguamilpa durante un ciclo hidrológico

completo, la modelación de escurrimientos hacia la cuenca Santiago-Aguamilpa, el monitoreo de la calidad del agua y el análisis de estos datos, aspectos de la distribución del fitoplancton y de la contaminación biológica por especies de cianobacterias, además de la modelación de los datos de calidad del agua en la presa; esto a través de sistemas complejos, pruebas de estadística multivariada y el empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIGs). Dichos sistemas son valiosos porque permiten sintetizar una cantidad enorme de información, siempre que se cuente con datos que posean un componente espacial (Figura 5.1).

Proyectos de esta naturaleza en parte son justificados por los efectos, frecuentemente negativos, que tienen la construcción y operación de las presas sobre el entorno ambiental. En este sentido, autores como **McCartney et al. (2001)** señalan que sin importar el tamaño de una presa, estas tienen distintos impactos a nivel de los ecosistemas de ríos. Como ejemplo de estos impactos podemos mencionar los cambios en los flujos ecológicos, en el régimen térmico, captura de grandes cantidades de sedimentos, aumento de la evaporación superficial del agua, generación de gases de efecto invernadero y la degradación de la calidad de sus aguas, entre otros. Aunado a esto, si la presa es considerada de gran tamaño los sistemas fluviales cambian y se manifiestan con la alteración de la forma del curso de los ríos y en la inundación permanente de los hábitat

tanto de flora como de fauna (**de Anda y González, 2012**).

En general, todas las presas son construidas y operadas con la finalidad de almacenar agua y administrarla con distintos propósitos (**Baker et al. 2000**). Esta función de las presas es esencial si consideramos que la disponibilidad del agua como recurso hídrico, puede verse afectada por las condiciones climáticas cambiantes en el tiempo. La presencia de una presa al alterar los causes de los ríos, no sólo modifica los regímenes hidráulicos, sino que además puede cambiar la dinámica de la cantidad de agua y su calidad (**Smithers, 2004; Fearnside, 2005**). En cuanto a la cantidad de agua almacenada en una presa, esta depende del balance entre la tasas de entradas y todas las salidas de agua (**Wetzel, 2001**). Algunas de estas entradas y salidas de agua son la precipitación, escurrimientos y evaporación, entre otras, y estas pueden tener patrones estacionales y temporales (**Bouwer et al. 2006; Chahinian y Moussa, 2007**). Pese a que el establecer el balance hídrico en una presa es complejo, es sumamente importante debido a que determina la calidad y cantidad de agua que esta posee.

En este sentido, el balance hídrico en la presa Aguamilpa se estimó a través de los volúmenes de entradas de agua. En el caso de la precipitación pluvial, esta aportó 112.27 Mm^3 en un ciclo anual (año 2007), siendo agosto el de mayor aporte de agua de lluvia con un volumen de 42.88 Mm^3 . En el caso de los escurrimientos

de agua, se empleó la información de la precipitación directa en la presa y el dato del área de la cuenca cuyos escurrimientos impactan directamente en la presa, más un factor de corrección o coeficiente de escurrimiento (**Campos, 1992**).



Figura 5.1. a.- Atardecer en la presa Aguamilpa, en el estado de Nayarit. b.- Fisiografía en torno a la Presa Aguamilpa.

Esta información permitió estimar que en el mismo ciclo anual las escorrentías hacia la presa de Aguamilpa equivalen a 571.08 Mm^3 , de los cuales el 38% (218.12 Mm^3) ocurrieron en agosto, mes de alta precipitación pluvial (Figura 5.2). La pérdida de agua por evaporación en el año fue de 217.39 Mm^3 . De esta cifra, las mayores pérdidas correspondieron a abril con 26.62 Mm^3 , mientras que septiembre fue el periodo con menores cifras de evaporación (11.63 Mm^3). Otro componente relevante tiene que ver con la

operación de la presa y su función en la generación de energía eléctrica. Para generar electricidad se requiere la descarga de grandes volúmenes de agua, los cuales al mismo tiempo son compensados con agua proveniente de presas aledañas (en este caso nos referimos a la presa el Cajón). El volumen máximo de agua de la presa Aguamilpa empleado en la generación de electricidad ocurrió durante el mes de agosto con aproximadamente 1,402.90 Mm³. Dadas las cifras estimadas para cada uno de los componentes del balance hídrico, sin duda la operación y manejo de la presa Aguamilpa (así como la presa el Cajón) son los factores determinantes en la cantidad de agua almacenada en ella.

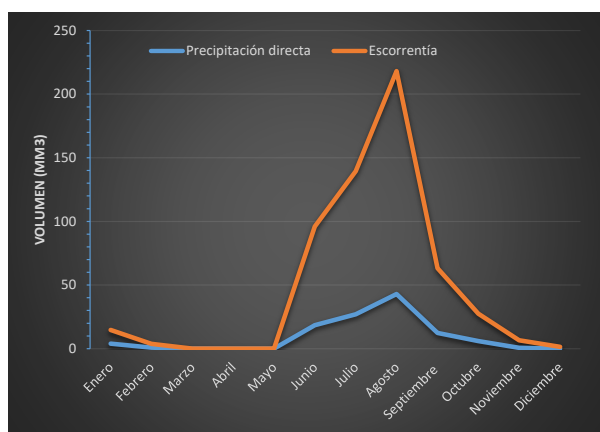


Figura 5.2. Volúmenes de agua aportados por precipitación directa y por escorrentía de la cuenca que impacta directamente en la presa Aguamilpa durante 2007. Fuente: De Anda y González, 2012.

En cuanto a la calidad del agua de la presa Aguamilpa se refiere, se requirió de la información recabada por la CONAGUA en el periodo 2000-2007, de parámetros tales como temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH,

conductividad, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), así como coliformes totales y coliformes fecales. El análisis estadístico descriptivo, el análisis de componentes principales (ACP) y las pruebas de comparación tipo ANOVA permitieron obtener información valiosa de estos datos. Por ejemplo, el ACP sugiere que parámetros como la temperatura del agua, conductividad y SST tienen un comportamiento estadísticamente diferente entre las temporadas de estiaje cálido, lluvias y estiaje frío. En tanto que la DBO y los coliformes totales responden solamente a las variaciones en el ciclo hidrológico. Derivado de este análisis se sugiere la extensión del estudio a otras zonas (zona fluvial, zona de transición y zona léntica) de monitoreo dentro de la presa, así como obtener muestras de más puntos de monitoreo en la zona léntica con la finalidad de validar parte de los resultados de este proyecto.

Por la relevancia de las distintas actividades productivas en torno a las aguas de la presa Aguamilpa, entre ellas la producción de electricidad, la actividad piscícola, el uso del agua para riego agrícola, entre otros, fue necesario contar con información de campo con mayor precisión y reciente de la calidad del agua de dicha presa. Para ello el proyecto de la presa Aguamilpa contempló realizar el muestreo *in situ* de algunos de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua. Estas actividades se realizaron entre junio de 2008 y abril de 2009. Se logró obtener datos del perfil vertical de

parámetros como temperatura, oxígeno disuelto, pH, potencial de óxido-reducción, transparencia del agua, conductividad, así como clorofila total y la concentración de algas verde-azules. Esto en la zona léntica de la presa (junto a la cortina de la misma).

Algunos de los resultados de esta etapa del proyecto fueron, la estratificación térmica que separa las zonas verticales de epilimnion (superior caliente) e hipolimnion (inferior fría). La separación de estas zonas imposibilita la interacción entre ellas, lo cual tiene un efecto sobre algunos de los parámetros fisicoquímicos y biológicos en la presa. En este sentido, el oxígeno disuelto, el pH y la concentración de algas verde-azules fueron las variables principalmente asociadas con los cambios en la temperatura de la columna de agua. Por ejemplo, en la zona de hipolimnion se observó un déficit de oxígeno que propicia la existencia de condiciones reductoras, en parte debido a que el oxígeno no se difunde de las capas superiores y también porque este gas es consumido por la actividad microbiana y por la mineralización de la materia orgánica presente a esas profundidades. Estas condiciones reductoras pueden promover la liberación y solubilización de iones de hierro, manganeso y arsénico, especies químicas que en concentraciones altas representan un riesgo si el agua es destinada a consumo humano o la agricultura. También pueden favorecer la formación de amonio, nitrito y metano, este último un reconocido gas de efecto invernadero.

Por último, la presencia de algas verde-azules fue registrada con una concentración más elevada en octubre de 2008 (11,200 cel/mL). En parte esta condición puede explicarse por los incrementos de la temperatura de la superficie y por una mayor disponibilidad de nutrientes debido a escurrimientos de la temporada de lluvias. La presencia de estas algas se vuelve de interés porque algunas de las especies que integran a este grupo de microorganismos, pueden producir ciertos compuestos químicos con potencial tóxico para especies de la flora y fauna locales, así como para las poblaciones humanas. Se sabe que ante la presencia de floraciones de algas verde-azules en cuerpos de agua, debe optarse por otra fuente de abastecimiento de agua cuando el recurso hídrico en cuestión tenga usos de riego agrícola o para consumo humano. Como en el caso de las aguas de la presa Aguamilpa los florecimientos de este tipo de microorganismos ocurrieron durante las temporadas de estiaje cálido y lluvias, una medida precautoria sería no emplear esta agua para los usos antes referidos.

Como una de las últimas actividades y tipo de información generada en el proyecto, se elaboró un diagnóstico de la comunidad fitoplanctónica en las aguas de la presa Aguamilpa. Actualmente en los embalses las comunidades acuáticas de estos microorganismos se encuentran perturbadas debido a la contaminación. La eutrofización provocada por estos contaminantes conllevan la desaparición de algunas especies de clorófitas y diatomeas,

mientras que las cianofitas experimentan un crecimiento acelerado bajo estas condiciones. Las cianofitas son un grupo de microorganismos de sumo interés porque algunas de sus especies son productoras potenciales de toxinas, entre otros efectos (**Prosperi, 2002**). En este sentido, trabajos como los de **Vasconcelos et al. (2010)** han reportado la presencia de microcistinas, es decir toxinas producidas por cianobacterias, en diferentes sistemas acuáticos del país. Los resultados sobre el fitoplancton indican que las clorófitas fueron conformadas por 37 especies, mientras que las cianofitas lo estuvieron por 26 especies y las diatomeas por 20 especies, en tanto que las fitoflageladas estuvieron conformadas por 10 especies; dinoflageladas y rodofitas estuvieron presentes con menos de cinco especies en cada caso (Figura 5.3). Debe resaltarse que en todos los muestreos siempre estuvieron presentes las cianofitas *Mersimopedia minutissima* y *M. punctata*, así como una especie del grupo de diatomeas, *Aulacoseira granulata var. granulata*.

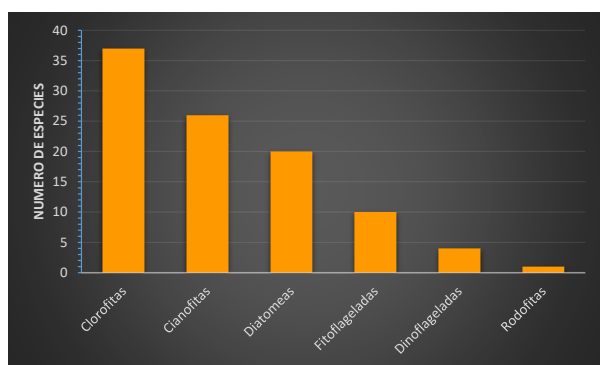


Figura 5.3. Distribución del número de especies según cada uno de los diferentes grupos de microorganismos fitoplanctónicos en las aguas de la presa Aguamilpa. Modificado de De Anda y González, 2012.

Entre otros resultados interesantes podemos mencionar que las densidades (o abundancias) de estos microorganismos se registraron durante junio de 2009 con 6,340,044 cel/mL. Además, en esta etapa del proyecto se estimaron varios índices relacionados con los ecosistemas de fitoplancton, entre ellos el índice de riqueza de especies (d), índice de equitatividad (J') e índice de diversidad (H y 1-Lambda). Los índices de riqueza oscilaron entre los 3.08 y 0.54, correspondientes a octubre de 2008 y junio de 2009. El valor más bajo de este índice se atribuye a la elevada abundancia de las cianofitas en todos los sitios de muestreo, con un aporte mayor al 60% en muchos de ellos. En tanto que el índice J' varió de 0.907 en octubre a 0.257 en junio. Mientras que el índice H presentó un mínimo en junio de 2009 con un valor de 0.66 y un máximo de 2.58 durante octubre de 2008. El índice 1-Lambda mostró la misma tendencia que el índice H, aunque con valores menores (Figura 5.4 a-d).

Se puede concluir que las aguas de la presa Aguamilpa tienen una elevada diversidad fitoplanctónica en el tiempo. Esta situación en parte es porque los nichos con diferentes condiciones ambientales (temperatura, intensidad luminosa, concentración de nutrientes, etc.) se van generando y cambiando en el año. Como ejemplo de ello se tienen los registros de la presencia de floraciones fitoplanctónicas dominadas principalmente por cianofitas, cuya aparición se ve impulsada por la presencia de nutrientes como nitrógeno y

fósforo los cuales son de origen antropogénico en la cuenca (Rangel-Peraza et al. 2009). Información más detallada de este tema y resultados, y de otros tópicos relacionados con

el estudio de la presa Aguamilpa, deberá hacerse en de Anda y González (2012).

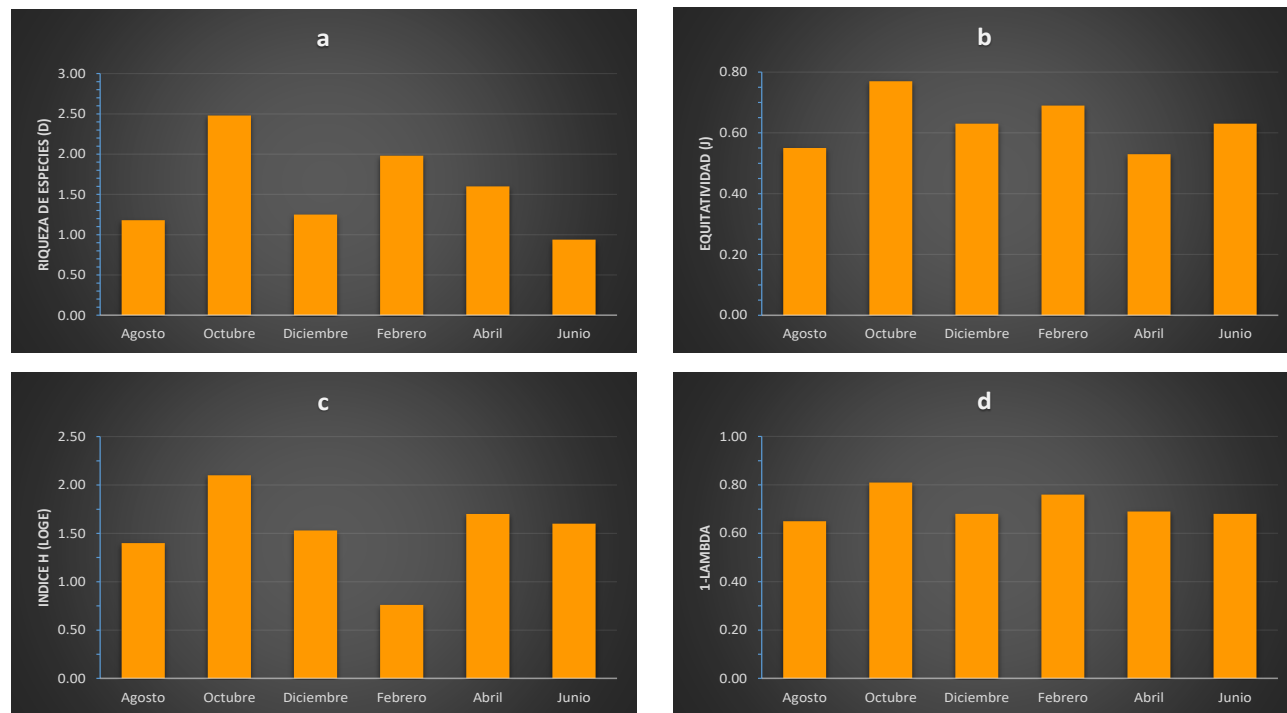


Figura 5.4. Comportamiento de los diversos índices estimados para el estudio del fitoplancton en las aguas de la presa Aguamilpa. a.- D-Índice de riqueza de especies; b.- J'-Índice de equitatividad; c.- H'-Índice de diversidad de Shannon-Viewers; d.- 1-Lambda-Índice de diversidad de Simpson. Fuente: de Anda y González, 2012.

Por otro lado, como parte del proyecto "Desarrollo de un sistema de soporte para la toma de decisiones a nivel cuenca para el control de la contaminación en los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla", se efectuaron distintos estudios que incluyeron actividades de campo y laboratorio para estimar el Balance Hídrico Climático (BHC) para la cuenca del río Cazones del Estado de Veracruz (Figura 5.5). El contexto de este proyecto es el siguiente.

Una cuenca hidrológica posee algunas características tales como la capacidad de captación de agua, un comportamiento hidrológico, así como las funciones que dicha cuenca tiene como parte del ecosistema al que pertenece. Estas características y su magnitud son una función de la variación espacial y temporal de las variables climáticas, y de las características fisiográficas de la cuenca (Thattai et al. 2003). El estudio de estas cuencas puede efectuarse a través de los balances hídricos, los cuales son métodos recurrentes y eficaces para estimar y determinar

el comportamiento hidrológico de una cuenca, su capacidad de captación y los flujos de agua, así como los procesos hidrológicos y los periodos en los cuales se presentan. Aunque todos los balances hídricos se fundamentan en el principio de conservación de la materia, hay diversos métodos y formas para su estimación: estocásticos o estadísticos, determinísticos, métodos numéricos y teóricos, e incluso aproximaciones semi-empíricas o empíricas. A este último grupo de balances hídricos, es decir los métodos empíricos, pertenece el Método Directo o también conocido como Balance Hídrico Climático (*BHC*), porque se basa en el uso de datos de variables climatológicas para su estimación. El *BHC* fue propuesto por **Thornthwaite y Mather (1957)** y para hacer sus estimaciones utiliza información sobre la capacidad de almacenamiento o reserva de agua del suelo (llamada también capacidad de campo) con una cierta cubierta vegetal; además, también incluye el uso de datos sobre valores de precipitación y temperatura de un cierto periodo de años (al menos 30). De esta manera, uno de los objetivos de este proyecto fue definir los periodos secos y húmedos, así como estimar los excesos de agua y la parte de escurrimientos que drenan hacia los ríos y arroyos de la cuenca del río Cazonos (**Santillán et al. 2013**).

El *BHC* permitió definir los periodos secos y húmedos para la cuenca del río Cazonos. El primero de ellos con duración de febrero a mayo y el segundo de junio a febrero. Durante el

periodo seco se estimó que no existe un déficit de agua en la región, mientras que durante lluvias se presenta un exceso de agua por las lluvias de junio a diciembre. La duración de estos periodos, el de secas y el de lluvias, dependen de la configuración local y regional de los factores climáticos y fisiográficos que afectan la evapotranspiración y precipitación en la cuenca.

En cuanto a la cantidad de exceso de agua acumulado a lo largo de un periodo anual, se estimó que esta fue de 638.63 mm. Esta cantidad de exceso de humedad en el suelo de la cuenca es la que se almacena y retiene mes con mes a lo largo del año; incluso durante la temporada seca no existe un déficit de humedad pese a que incluso la precipitación está prácticamente ausente.



Figura 5.5. a.- Imagen del río Cazonos en un punto de corriente lenta. b.- Perspectiva del río Cazonos, Veracruz, donde se pueden apreciar las dimensiones de este embalse.

Cuando este exceso de agua rebasa la reserva máxima o capacidad de campo del suelo es cuando se presentan los escurrimientos superficiales. Es importante mencionar que para que se den estos fenómenos de escurrimientos superficiales, se depende también del tipo de suelo y de la pendiente topográfica, de la precipitación estacional, así como de la evapotranspiración potencial (**Yokoo et al. 2006**). Como parte del *BHC* se pudo estimar la oscilación anual a través de las estimaciones mensuales de los valores de escurrimientos superficiales en la cuenca. Así, en mayo se observó el menor valor de dichos escurrimientos con 1.61 mm, equivalentes a 0.004 Mm³. Mientras que en septiembre se estimó el dato más elevado en el año para los escurrimientos en la cuenca, los cuales fueron equivalentes a 159.33 mm o 0.43 Mm³. Estos mismos datos pero bajo la perspectiva de un ciclo anual, indican un escurrimiento de 637.02 mm equivalentes a 1.71 Mm³ de agua captada en la superficie de la cuenca. Este dato es similar al reportado por la Comisión Nacional del Agua de México (CONAGUA). La similitud de los resultados anteriores confirma que el método de *BHC* (**Thorntwaite y Mather, 1957**) es eficiente y confiable para poder realizar una primera estimación del escurrimiento superficial, y conocer la cantidad de agua captada dentro de una cuenca no aforada, lo cual resulta en información relevante para el manejo y planificación de los recursos del agua de una cierta región (**Santillán et al. 2013**). Cabe destacar que el exceso de agua y la generación

de escurrimientos son sensibles a los cambios en la cobertura vegetal.

Como parte de los estudios relacionados con el proyecto sobre los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla y sus correspondientes cuencas, y considerando la importancia de la cobertura vegetal de la superficie del suelo para determinar el *BHC*, fue que se desarrolló un estudio sobre el cambio en la cobertura vegetal y el uso del suelo en la cuenca del río Tecolutla.

La investigación sobre el cambio de uso de suelo y la pérdida de cobertura vegetal se realiza con la finalidad principal de comprender las causas y consecuencia de estos cambios (**Long et al. 2007**). Algunas de las causas de los cambios sobre la cobertura vegetal pueden ser eventos naturales e inducen una pérdida importante (como huracanes e incendios, entre otros); no obstante, en las últimas décadas algunas de las actividades humanas productivas son las que han tenido un mayor efecto sobre la cobertura vegetal de las cuencas hidrológicas de nuestro país, como consecuencia de factores demográficos y económicos (**Loya-Carrillo et al. 2013**).

La Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO por sus siglas en inglés) indica que nuestro país contaba con 70 millones de hectáreas (ha) de bosques en 1990, las cuales han presentado una tasa de deforestación promedio de 354 mil ha/año en 2010, derivado

principalmente de los impactos negativos de diversas actividades humanas productivas (FAO, 2010). En específico para el estado de Veracruz el sector agropecuario y su crecimiento en áreas de cultivo y de pastizales inducidos (claro ejemplo del cambio de uso de suelo), desempeñan un papel importante dentro de la actividad económica y la producción de alimentos, pero a su vez tienen un efecto directo en la reducción de la vegetación natural (Hernández et al. 2013). Este efecto negativo no es ajeno a las cuencas hidrológicas de dicho estado, tal es el caso de la cuenca del río Tecolutla la cual entre 2003 y 2010 pasó de las 70 mil hectáreas cultivadas en los municipios de la cuenca a 96 mil hectáreas; cambios que indudablemente han modificado la distribución espacial de la cobertura vegetal dentro de la cuenca.

Los cambios en la cobertura vegetal de la cuenca del río Tecolutla fueron evaluados con datos de teledetección de elevada calidad y la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIGs). Estas herramientas posibilitan estudiar la dinámica de los cambios de uso de suelo en diferentes periodos, las causas de los cambios, e incluso detectar las áreas más susceptibles de presentar dichos cambios; información esencial para la toma de decisiones al momento de la planeación (Dzieszko, 2014).

Bajo esta perspectiva, este estudio evaluó el impacto de las actividades antropogénicas en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, en un periodo de 16 años (1994 a 2010). La relevancia del estudio de esta cuenca radica en que es una de las 110 regiones hidrológicas prioritarias identificadas por la Comisión Nacional de la Biodiversidad (CONABIO) en México, debido a su alta biodiversidad (Pérez-Maqueo et al. 2011).

Como resultados principales de este estudio, el análisis de la información reveló una tendencia al incremento de superficies dedicadas a actividades humanas (agricultura y uso urbano), presentando porcentajes de cambio de 28% y 67% en el periodo referido, respectivamente. En consecuencia, se observó una disminución de superficies con coberturas naturales (-1.1% anual), específicamente de bosques y selvas, encontrándose similitudes con trabajos realizados a nivel nacional y estatal, donde se ha demostrado la transición de coberturas naturales por el incremento de actividades antropogénicas. Este dato incluso es mayor al dato oficial (-0.52%) de la FAO para el periodo 1990-2010. El resultado de la pérdida de la cobertura vegetal en la cuenca del río Tecolutla se debió a las actividades agropecuarias, suelo agrícola y pastizales, las cuales tuvieron un impacto mayor al afectar 6,206 ha de selva y 47,774 ha de bosque (Figura 5.6). La zona de la cuenca donde fueron más apreciables estos efectos fue el límite entre Veracruz y Puebla,

mientras que las zonas de mayor conservación se ubicaron en el estado de Puebla (**Osuna et al. 2015**).

Esta investigación cobra importancia al establecer un precedente para identificar y cuantificar las coberturas vegetales que han presentado mayor porcentaje de afectación en esta región, así como por conocer los usos de suelo que las han propiciado. Esta información será de utilidad para futuros planes de desarrollo ambiental y futuras estrategias de conservación de los recursos hídricos de la cuenca, puesto que este tipo de estudios son escasos en México.

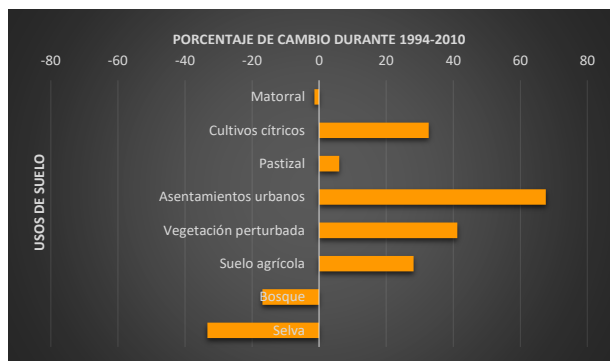


Figura 5.6. Estimación de los cambios en el uso del suelo (expresados en %) durante el periodo 1994-2010 en la Cuenca del río Tecolutla. Los valores negativos implican pérdidas de superficie y los valores positivos indican crecimiento en superficie según los usos de suelo. Fuente: Osuna et al. 2015.

Otro proyecto desarrollado sobre evaluación de la calidad del agua fue el “*Estudio epidemiológico de factores asociados a la enfermedad renal crónica en catorce municipios del Oriente de Michoacán*”. La justificación que da pie a la realización de este proyecto es que en esa región existía una incidencia y prevalencia altas de

casos de la Enfermedad Renal Crónica (ERC), cifras preocupantes principalmente en individuos jóvenes y sin diabetes mellitus o hipertensión arterial, enfermedades que anteceden a dicho padecimiento renal (**Olvera, 2013**). Estas circunstancias despertaron el interés por realizar estudios de calidad del agua de abastecimiento humano en la zona, bajo la hipótesis de que el consumo de este vital líquido era una de las principales vías de exposición de la población de la región a algunos potenciales contaminantes presentes en el agua y que pudieran estar relacionados con dicho padecimiento.

Para una mejor comprensión de la relevancia de este proyecto, es necesario contar con una referencia de lo que es la ERC. La Fundación Nacional del Riñón (NKF, por sus siglas en inglés) define la ERC como “daño renal de una duración igual o mayor a tres meses, caracterizado por anomalías estructurales o funcionales con o sin descenso de la tasa de filtración glomerular a menos de 60 mL/min/1.73 m².” Para esto se establecen cinco etapas en la evolución de la ERC, las cuales se basan en la presencia de daño estructural y/o la disminución de la tasa de filtración glomerular (TFG). La ERC es un proceso multifactorial de carácter progresivo e irreversible que frecuentemente conduce a un estado terminal (ERCT) en el cual la función renal se encuentra muy deteriorada provocando que el paciente fallezca o necesite terapia de remplazo renal, es

decir, diálisis o trasplante (**López-Cervantes, 2010**).

Con este antecedente, el objetivo del estudio fue evaluar la calidad del agua para consumo humano a través de parámetros fisicoquímicos asociados a la ERC. Los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua que se consideraron fueron pH, temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, turbiedad, color, acidez, dureza, DBO, DQO, calcio, magnesio, nitrato, sulfato; así como la presencia de metales pesados y elementos tóxicos tales como cromo, zinc, cadmio, plomo, cobalto, selenio y arsénico, entre otros.

El personal de investigación de la UTAM colectó las muestras de agua en campo en al menos seis municipios de las regiones Cuitzeo y Oriente de Michoacán en dos temporadas del año. Las muestras de agua consideradas en este proyecto provinieron de pozos, manantiales y lagunas, así como aguas residuales de la actividad geotérmica para producir electricidad. La Figura 5.7 ilustra algunos de los sitios y tipos de agua que fueron incluidos en este proyecto. Posteriormente, estas muestras fueron analizadas en campo y laboratorio para determinar el valor de los parámetros fisicoquímicos ya referidos y comparar estos datos con las referencias establecidas en las respectivas normas sobre agua potable.

Los datos generados en campo y en laboratorio sobre los parámetros fisicoquímicos de calidad de las muestras de agua, fueron analizados mediante el uso de pruebas estadísticas Multivariadas, tal es el caso del Análisis de Componentes Principales/Análisis Factorial (ACP/AF), y los Sistemas de Información Geográfica (SIGs). El resultado de este análisis permitió explorar la identificación de las potenciales fuentes de contaminación y la estimación de las probables concentraciones de algunos contaminantes en sitios no muestreados, respectivamente. Enseguida se describen algunos de los principales resultados de este proyecto.



Figura 5.7. a.- Laguna Verde dentro de la planta geotérmica “Los Azufres”; laguna artificial con agua para inyección al subsuelo. Las comunidades de ZIT y SPJ son las más cercanas a esta área. b.- Contenedor metálico para sólidos gruesos presentes en el agua de inyección, ésta es producto de la condensación del exceso de vapor y es muy corrosiva.

En general, el análisis de los resultados indica que todos los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua estuvieron dentro de los límites establecidos por las normas en casi todos los sitios (**NOM 014; NOM-127**). Pero hubo niveles bajos de pH y altos para turbiedad, color, Hierro, Aluminio, Manganeso y Arsénico en varios sitios, principalmente de las poblaciones de Zinapécuaro y San Pedro Jácuaro (comunidad del municipio de Ciudad Hidalgo). La figura 5.8 permite apreciar la variación de estos parámetros en cada una de las comunidades y sitios de muestreo.

De las variables antes referidas podemos resaltar algunas particularidades que podrían estar relacionadas con los problemas en la salud de las poblaciones de las regiones de estudio. Un pH ácido puede contribuir de manera indirecta al desarrollo de la ERC, pues tienden a incrementar las concentraciones de compuestos nefrotóxicos en el agua al favorecer la disolución de las rocas del subsuelo (**Ward et al., 2010**); además, el pH ácido (y la dureza alta) favorece la corrosión y disolución de los metales de los sistemas de distribución del agua para consumo humano y por consiguiente su contaminación (**WHO, 2011**).

Los ACP-AF junto al análisis de correlación permitieron identificar que las fuentes de contaminación de la zona de estudio son de origen natural. En primer lugar se destacan las

fuentes naturales de origen geológico, ya que la mayoría de los sitios muestreados se encuentran sobre rocas ígneas extrusivas que contribuyen en los niveles de la mayoría de los parámetros de composición de las aguas. Así mismo, el factor estacional tiene gran importancia puesto que las lluvias influyen en el incremento de los niveles de varios parámetros debido a la lixiviación (**Panduro, 2015**).

Se destaca la presencia de altos niveles de arsénico en sitios de Zinapécuaro y San Pedro Jácuaro. En algunos casos estas concentraciones están muy cerca del límite máximo permisible de la norma, o incluso por arriba de ella. Es de resaltar que el Arsénico cuenta con numerosos estudios epidemiológicos que permiten establecer su asociación con la ERC (**Chandrajith et al. 2011; Sabath y Robles, 2012**). Es importante hacer énfasis en la coincidencia de que Zinapécuaro y San Pedro Jácuaro son dos de las comunidades más cercanas a las áreas de operación de la planta eléctrica geotérmica de la Comisión Federal de Electricidad "Los Azufres", ubicada en la parte alta del cerro de San Andrés. Es probable que exista una relación entre la actividad de esta planta y la disposición de sus residuos con los casos de la ERC en la región; en concreto nos referimos al agua residual o de inyección derivada de la eliminación de la humedad del vapor extraído del subsuelo, y que es inyectada al mismo o que permanece en lagunas artificiales, como en el caso de Laguna Verde.

Las condiciones hidrotermales en el área de Zinapécuaro y San Pedro Jácuaro es probable que hayan tenido una influencia en el incremento de las concentraciones de arsénico.

Por último, se logró identificar numerosos sitios de abastecimiento de agua con niveles altos de aluminio. La exposición prolongada al aluminio, puede causar toxicidad sistémica, que afecta principalmente el tracto gastrointestinal y puede inducir efectos neurológicos y esqueléticos.

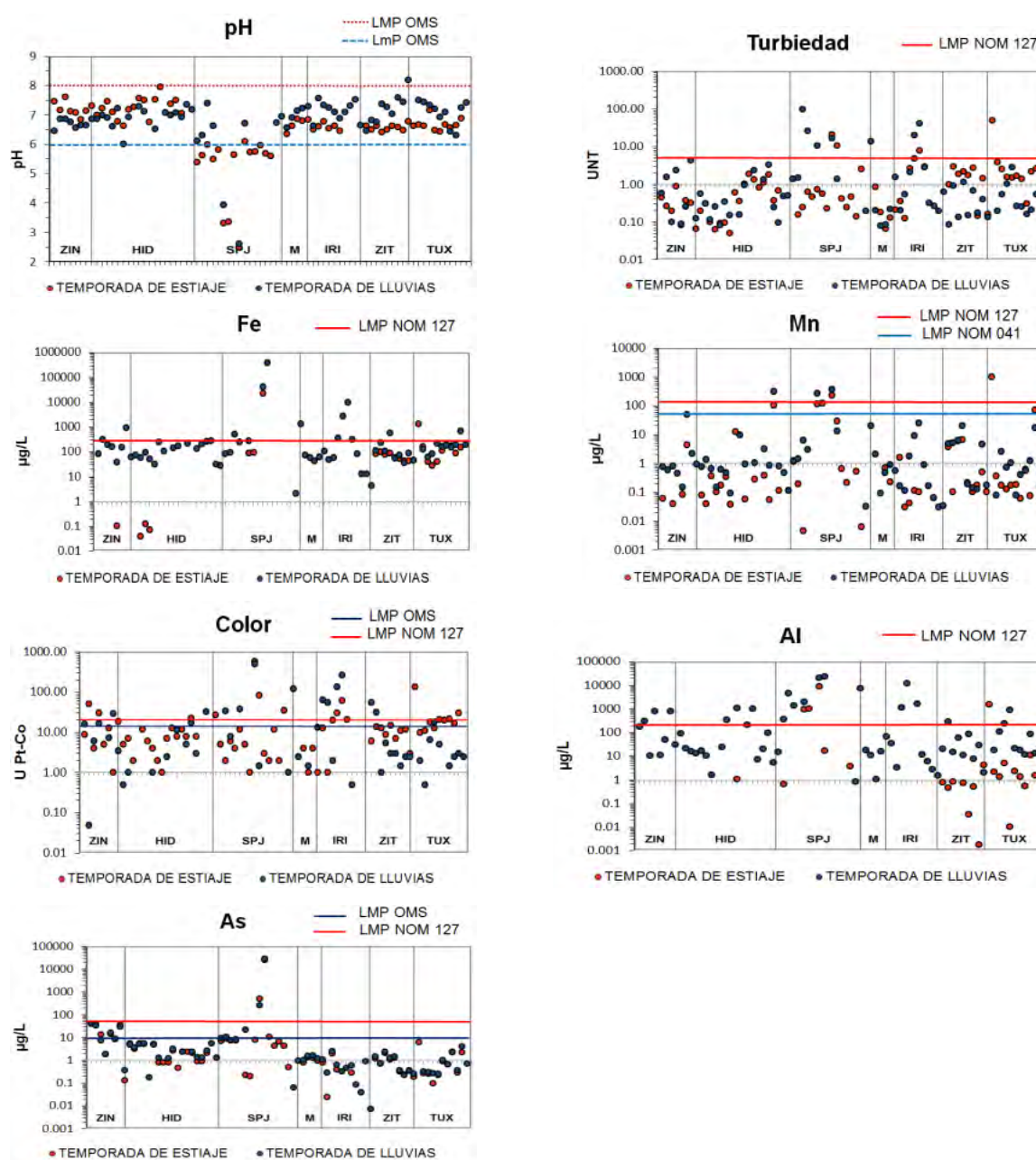
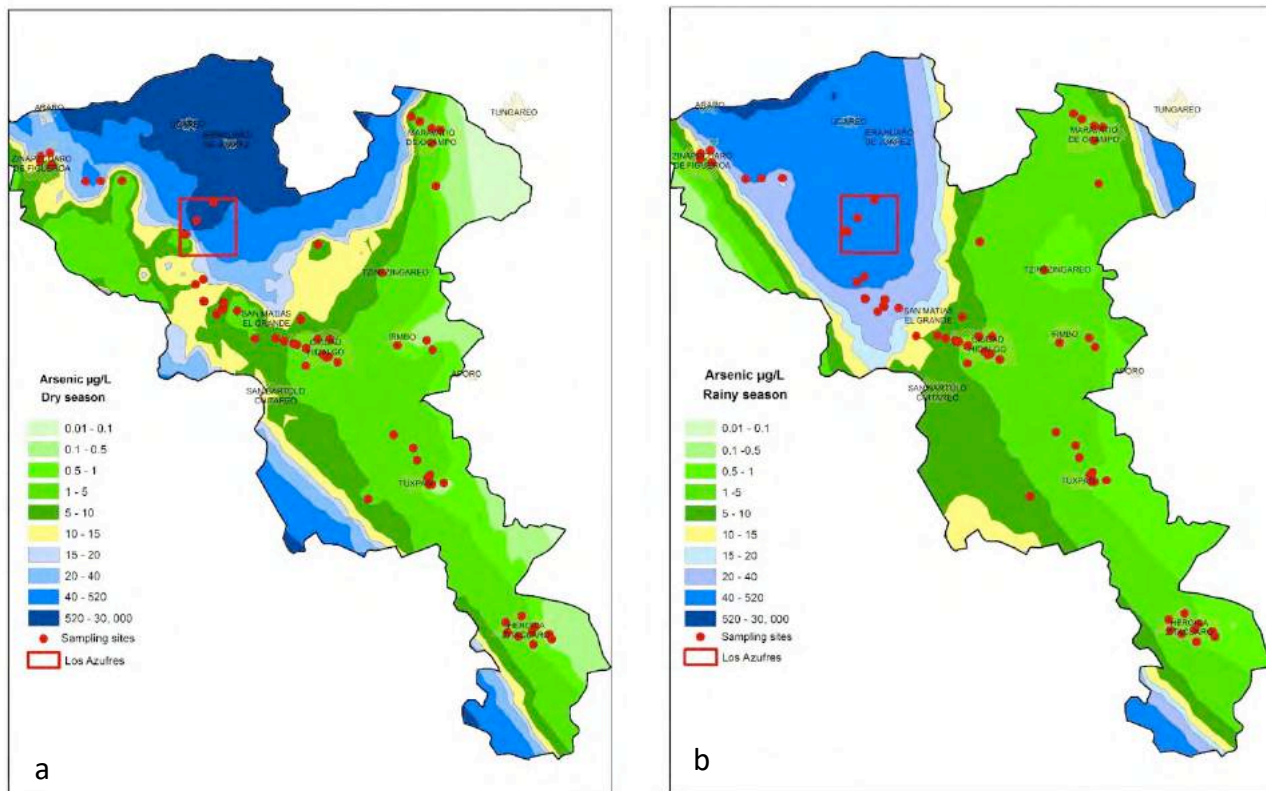


Figura 5.8. Variación de las concentraciones y niveles de algunas de las variables que determinaron la calidad del agua de consumo humano en los municipios de Zinapécuaro (ZIN), Ciudad Hidalgo (HID), Maravatío (M), Irímbo (IRI), Zitácuaro (ZIT) y Tuxpan (TUX). La comunidad de San Pedro Jácuaro (SPJ) pertenece al municipio de HID. LMP-OMS: Límite máximo permisible de la organización mundial de la salud. LmP-OMS: Límite mínimo permisible de la organización mundial de la salud. LMP-NOM-127 y 041: Límite máximo permisible de la norma oficial mexicana 127 y 041, respectivamente.



5.9. Cartografía elaborada mediante SIGs que representa la modelación de las probables concentraciones de Arsénico en las regiones de estudio. Los puntos rojos indican los sitios de muestreo del agua para consumo humano. El recuadro rojo señala el área e operación de la planta geotérmica de la Comisión Federal de Electricidad, “Los Azufres”; a.-temporada seca y b.- temporada de lluvia.

Además, este elemento puede provocar intoxicación en pacientes con ERC (**Forbes y Hill, 1998**).

Es importante mencionar que el manejo y síntesis de toda la información de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua en los numerosos sitios de muestreo, fue posible gracias al empleo de SIGs. Esta herramienta informática permitió visualizar con mayor claridad la probable distribución de las variables de estudio en las regiones de interés. Además,

los SIGs cuentan con la capacidad para modelar la distribución espacial de un conjunto de puntos tomados en campo y extrapolar un valor probable en áreas en donde no se tiene información. Como ejemplo de este análisis se puede apreciar la probable distribución del arsénico en las temporadas de secas y lluvias (Figuras 5.9) en las regiones de estudio. Puede observarse como se establece un valor de concentración probable en zonas y poblaciones en las que no se obtuvieron muestras de agua para su análisis.

Los resultados generados durante el desarrollo del proyecto son considerados como la base científica para entender la relación entre la calidad del agua de consumo humano en las regiones de estudio y la alta frecuencia de casos de la ERC.

Aún faltan estudios más completos y multidisciplinarios que incluyan datos epidemiológicos de la población regional en un futuro inmediato. Esto es esencial si se pretende definir el rol que juega la exposición ambiental, vía el consumo de agua, en el número de casos por esta enfermedad en la región.

Uno de los más recientes proyectos de esta sub-línea se llamó "Evaluación de la calidad de agua de fuentes de abastecimiento con presencia de Compuestos Disruptores Endócrinos (CDEs) y su riesgo potencial a la salud pública tomando como modelo el Lago de Chapala". La relevancia del estudio de este lago radica en que es la fuente principal de abastecimiento de agua para su potabilización y posterior distribución en la Zona Metropolitana de Guadalajara. La Figura 5.10 es una representación cartográfica (creada por los SIGs) de las dimensiones y forma de este cuerpo de agua superficial, el más grande del país. También es posible apreciar la orografía de los alrededores cuyos escurrimientos contribuyen con el balance hídrico del lago, y la presencia de su principal tributario, el río Lerma ubicado en dirección este del lago. En la figura

también se muestran los diferentes puntos de muestreo (en dos campañas una en la temporada seca y otra en lluvias), los cuales contemplaron sitios cercanos a poblaciones asentadas alrededor del lago, sitios cercanos a la desembocadura del Lerma, sitios próximos a las instalaciones de una planta potabilizadora de Comisión Estatal del Agua (CEA) de Jalisco, así como sitios cercanos al río Santiago e incluso sobre su cauce. Este último río si bien es la salida natural del lago de Chapala, durante la temporada seca se vuelve un tributario del lago por el nivel bajo del agua que este último alcanza y por la influencia del río Zula sobre la dirección del flujo del agua. El río Zula se considera con aguas de calidad baja; por ejemplo, las descargas de la zona industrial de Ocotlán se unen a unos escurrimientos naturales y drenan directamente a este río, sin tratamiento alguno (IMTA, 2009).

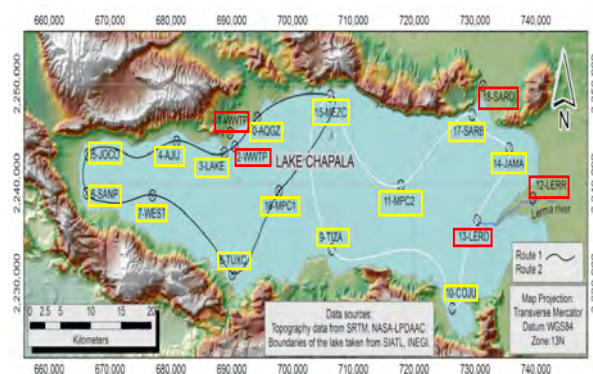


Figura 5.10. Representación cartográfica del lago de Chapala y los sitios de toma de muestras de agua para la medición de diversos parámetros relacionados con la determinación de su calidad.

El sistema conformado por el río Lerma- lago de Chapala- río Santiago integra una parte de la Cuenca Lerma-Chapala. Esta cuenca a su vez abarca los estados de Guanajuato, Jalisco,

México, Michoacán y Querétaro. Una característica particular de la misma es que en su extensión se han identificado aproximadamente 6,700 empresas establecidas y 560 de ellas catalogadas como grandes demandantes de agua; estas últimas, pertenecen principalmente a la industria alimenticia, la petrolera y la celulosa y papel (con la consecuente generación de importantes volúmenes de aguas residuales). En parte estas condiciones han provocado que la cuenca Lerma-Chapala se ubique entre las regiones de mayor polución del país, principalmente por las descargas de aguas residuales de origen urbano, industrial, agrícola y pecuario, sin tratamiento en la mayoría de los casos. En el caso específico del río Lerma y sus problemas de contaminación, se sabe que la calidad de su agua difiere según las zonas de la cuenca que atraviese. Por ejemplo, en áreas cercanas al sitio de su nacimiento (el río Lerma nace en las laderas del Nevado de Toluca a 4,690 msnm) recibe descargas urbanas e industriales de Almoloya del Río, Santiago Tianguistenco, San Mateo Atenco, Toluca y del corredor industrial Toluca-Lerma provocando alta contaminación, que se atenúa en la presa Alzate al actuar como una laguna de oxidación. Sin embargo, las descargas urbanas e industriales de Atlacomulco vuelven a verter contaminantes. En la zona del medio Lerma hay un desarrollo poblacional e intensa actividad agrícola e industrial en el corredor Celaya-Salamanca-Irapuato, cuyas descargas residuales provocan fuerte contaminación en esta parte del río, que

se agudiza en la confluencia del río Turbio al incorporarse las descargas de la ciudad de León y Guanajuato. La contaminación se incrementa aún más en el tramo Irapuato-La Piedad con descargas agrícolas, industriales y porcícolas. A partir de este punto existen caídas de agua que mejoran su calidad debido a un proceso natural de aeración. Cuando las aguas han llegado al bajo Lerma, el río recibe las descargas de Yurécuaro, Briseñas y la Barca, tramo que se mantiene contaminado hasta su llegada al lago de Chapala. De esta manera, el lago de Chapala es uno de los cuerpos de agua que ha tenido serias repercusiones por la fuerte contaminación de sus aguas provenientes principalmente del río Lerma, así como de las descargas de sus zonas ribereñas (IMTA, 2009).

Bajo este escenario el proyecto mencionado se planteó como objetivos: 1) establecer las metodologías analíticas para el análisis fisicoquímico de compuestos disruptores endócrinos del agua superficial del Lago de Chapala; 2) implementar un plan de muestreo temporal y espacial del Lago de Chapala (Figura 5.11); 3) identificar los compuestos disruptores endócrinos de mayor frecuencia y potencial disruptor en el cuerpo de agua y elegir algunos compuestos modelo de importancia para su degradación; 4) evaluar el efecto biológico de las aguas a través de la evaluación del potencial de disrupción mediante de pruebas de estrogenicidad; 5) proponer un proceso avanzado de oxidación preliminar para el tratamiento del agua con presencia de CDEs, y

6) la elaboración de un plan de acción preventivo que permita a los gobiernos, organizaciones científicas y no gubernamentales a tomar decisiones adecuadas en base a la calidad del agua con la que se abastece su población o municipio.

La principal aportación del proyecto fue el establecimiento de un índice de la calidad del agua del lago considerando parámetros como oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno, entre otros (acorde a la Fundación de Sanidad del Agua de los EE.UU). Este índice sugiere una calidad media del agua con un valor promedio de 56 en una escala de 0 a 100.

Otro aspecto relevante fue la detección de algunos compuestos considerados como contaminantes emergentes, los cuales son un riesgo de salud para la población. Entre ellos se encuentran fármacos, esteroides, plastificantes y compuestos fenólicos. Sus concentraciones se encontraron en el orden de nanogramos a microgramos por litro.

La demostración de que el agua del Lago de Chapala puede tener un efecto biológico sobre los seres vivos se llevó a cabo mediante pruebas de estrogenicidad. Algunas muestras (concentradas en el orden de 1 a 1000, simulando un proceso de biomagnificación natural), dieron positivo a esta prueba. Este resultado es relevante si consideramos que la biomagnificación ocurre entre las diferentes

especies de organismos del lago (todos ellos como parte de la cadena trófica). Además, la estrogenicidad en agua de lagos y lagunas, generalmente se asocia con efectos biológicos indeseables en algunos de los organismos que las habitan.

La importancia del monitoreo de la estrogenicidad es porque la exposición a los CDEs está correlacionada con bajos conteos de esperma en hombres de los Estados Unidos, Holanda y Europa (**Swan et al. 1997; Dallinga et al. 2002**). Asimismo, en humanos diferentes tejidos y órganos cuentan con receptores de estrógeno, incluyendo el cerebro, sistema inmune y cardiovascular, glándulas mamarias, hígado, riñón, sistema reproductivo (ovarios, testículos, útero, próstata), tejido adiposo y huesos (**Müller, 2004**), por lo que se considera que la exposición a los CDEs puede ocasionar problemas de salud por interferir con su funcionamiento normal. También se ha dado evidencia del efecto de los CDEs en especies de animales silvestres, en especial en peces (**Anderson et al. 2003; Schlenk, 2008**). Por ejemplo, **Nakada et al. (2004)** y **Snyder et al. (2003)** señalan que los CDEs a concentraciones muy bajas (ng L^{-1}) en cuerpos de agua naturales, pueden inducir la feminización y vitelogénesis en peces machos y juveniles. La vitelogénesis implica la síntesis de la vitelogenina y éste es un precursor de proteínas en la yema de los huevos que normalmente es sintetizada por el hígado en las hembras de los peces (**Matozzo et al. 2008; Cargouët et al. 2007**). Otros efectos de

los CDEs en vertebrados acuáticos es la interrupción del desarrollo gonadal en las primeras etapas del ciclo de vida (**Gunarsson et al. 2009**). Estos efectos son permanentes y pueden resultar en una reducida fertilidad en la etapa adulta (**Liney et al. 2005; Parrot y Blunt, 2005**). Asimismo, la actividad anticonceptiva del EE2 (17 α -etinilestradiol y compuesto emblemático del tipo CDEs) puede afectar a las hembras de estas especies de vertebrados, al prevenir la ovulación a través de un “feedback” negativo en la secreción de las gonadotropinas (**Gunarsson et al. 2009**). Varios de estos efectos pueden ocurrir a concentraciones muy bajas: 0.1 ng L⁻¹ de EE2 induce la expresión de la vitelogenina en peces, 0.1-1.5 ng L⁻¹ pueden afectar la diferenciación sexual y 2-10 ng L⁻¹ pueden interferir con la fecundidad (**Nash et al. 2004; Fent et al. 2006**). Los efectos de los CDEs en distintas especies animales se deben a que los receptores de estrógeno son muy similares en estructura entre diferentes grupos de vertebrados, por lo que estos compuestos pueden afectar las funciones del sistema endócrino de muchas especies en los ecosistemas acuáticos (**Schiliró et al. 2009**).



Figura 5.11. Actividades de muestreo en el lago de Chapala. Los investigadores de la UTAM tomaron muestras de agua para la medición de diversos parámetros y determinar su calidad, algunos in situ y otros en laboratorio. Por las dimensiones del lago simultáneamente dos equipos realizaron estas actividades, partiendo de la población de Mezcala, uno en dirección este y otro hacia el oeste, siguiendo los recorridos indicados en la Figura 5.10.

Los resultados del proyecto fueron presentados en el Foro Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación del CONACYT, los días 7 y 8 agosto de 2018 en la Ciudad de México, como caso de éxito dentro de los proyectos aprobados por el Fondo Problemas Nacionales-CONACYT (convocatoria 2014).

Es de destacar que en este 2018 un proyecto sobre la calidad del agua del lago de Chapala inicia actividades. No obstante, los alcances del mismo son más ambiciosos puesto que se pretende realizar investigación en torno a la presencia y eliminación de algunos *contaminantes emergentes* presentes en el lago. Este proyecto lleva por título “*Arreglo de micelas magnéticas permanentemente confinadas (Mag-PCMA)s para la eliminación de contaminantes emergentes de muestras ambientales del Lago de Chapala.*” Antes de hablar de los objetivos, actividades e impactos que pretende este proyecto, tratemos de entender lo que es un contaminante emergente.

Algunos de los compuestos químicos que actualmente usamos cotidianamente, incluyen medicinas o fármacos (tanto aquellas que requieren o no prescripción médica), productos de higiene, cuidado o uso personal (por ejemplo, jabones, desinfectantes, etc.) y sus aditivos

químicos (tales como preservativos), agentes tenso activos, plastificantes y aditivos industriales. Estos compuestos están presentes en el ambiente y se asocian con diferentes tipos de fuentes tales como plantas de tratamiento de aguas residuales de tipo domésticas e industriales, los residuos sólidos de las plantas de tratamiento, los efluentes hospitalarios, escurrimientos de superficies agrícolas y urbanas, y sistemas sépticos. Estos contaminantes son referidos colectivamente como *contaminantes emergentes* (Gil et al. 2012; USGS, 2014). El término de contaminante emergente se emplea para referirnos a compuestos de distinto origen y naturaleza química, cuya presencia en el ambiente no se considera significativa en cuanto a su distribución y concentración se refiere, por lo que pueden pasar inadvertidos; no obstante, en la actualidad están siendo más ampliamente detectados y la importancia de esto radica en que estos compuestos tienen el potencial para causar efectos adversos ecológicos o en la salud humana (Stuart et al. 2012). Por su origen es frecuente que este tipo de compuestos terminen en cuerpos naturales de agua, tanto superficiales como subterráneos.

Dentro de los tipos de contaminantes emergentes nos referiremos a los fármacos y a los productos de uso personal. En el caso de los primeros podemos mencionar a grupos de ellos, tal es el caso de los analgésicos (diclofenaco, naproxeno, ibuprofeno, acetaminofén, así como algunos de sus metabolitos; antisépticos como

el triclosan y, estimulantes como la cafeína), antihipertensivos (atenolol, metoprolol y propranolol, entre otros), antibióticos para animales y humanos (tetraciclinas, aminoglicósidos, macrólidos, betalactámicos y vancomicina), así como drogas ilícitas y sus metabolitos, como por ejemplo anfetamina, cocaína, metanfetamina y heroína. También podemos mencionar a las hormonas esteroideas naturales cuyo origen es la población humana (tanto hombres como mujeres). Por ejemplo testosterona, aldosterona, cortisol, dehidroepiandrosterona, estradiol, estriol y estrona. Y dentro de las hormonas sintéticas podemos mencionar al 17- α -etinilestradiol, oxandrolona y nandrolona (Gil et al. 2012).

Los productos de uso personal están dirigidos a alterar el olor, el aspecto, el tacto del cuerpo humano, sin demostrar actividad bioquímica significativa. Entre ellos podemos mencionar perfumes, fragancias, policíclicos y macrocíclicos; agentes de protección solar, benzofenona, metilbenzilidenecambor, y repelentes de insectos como N, N-dietiltoluamida. Así como parabenos en medicamentos, cosméticos y alimentos, entre otros (Gil et al. 2012).

De esta manera, dicho proyecto tiene como objetivos no sólo determinar la calidad del agua del lago de Chapala, sino que además busca determinar las concentraciones de algunos de estos fármacos y productos de uso personal.

Igualmente se pretende evaluar la remoción de dichos tipos de contaminantes mediante el empleo de micelas magnéticas permanentemente confinadas, tanto en sistemas modelo como en muestras ambientales, ello a través de mecanismos de adsorción. También se busca diseñar y validar un filtro a escala laboratorio basado en micelas magnéticas permanentemente confinadas, pero dispersas en hidrogeles para la eliminación continua de fármacos y productos de uso personal en muestras ambientales.

Como parte de las actividades del proyecto se pretende realizar muestreos y análisis del agua de la cuenca Lerma-Chapala, sintetizar las micelas magnéticas permanentemente confinadas, elaborar las cinéticas de adsorción de fármacos y productos de uso personal en muestras de laboratorio y en muestras ambientales, inmovilizar las micelas magnéticas en hidrogeles de alginato, y diseñar un filtro basado en las micelas magnéticas inmovilizadas, probando su eficiencia en la adsorción de los compuestos ya referidos en muestras de laboratorio y ambientales.

Con el desarrollo del proyecto y sus posibles resultados, se espera proponer una tecnología para la eliminación continua de contaminantes ambientales que tienen el potencial de afectar negativamente la salud humana y la fauna acuática, y que no se eliminan fácilmente con las tecnologías actuales que se emplean plantas de

tratamiento de aguas, esto aplicadas a las aguas del lago de Chapala.

De esta manera, la sub-línea de *Evaluación de la Calidad del Agua* ha desarrollado proyectos de investigación relacionados con la comprensión de los cuerpos de agua naturales en distintas partes del país, y ha aportado evidencia de los cambios que estos han sufrido a consecuencia de las actividades del hombre. La comprensión de la dinámica de estos cuerpos de agua y de aquellas circunstancias que alteran su estado natural deberá ser objeto de posteriores investigaciones, esto encaminado siempre a preservar este vital recurso natural para las futuras generaciones.

Referencias

- Anderson, H., Siegrist, H., Halling, S.B. & Ternes, T.A. (2003). Fate of estrogens in municipal sewage treatment plant. *Environmental Science and Technology*, 42: 4021-4026
- Baker, R., Scott, C.A., De Fraiture, C. & Amarasinghe, U. (2000). Global Water Shortages and the Challenge Facing Mexico. *Water Resource Development*, 16(4): 525-542
- Bouwer, L.M., Aerts, J.C.J.H., Droogers, P. & Dolman, A.J. (2006). Detecting the longterm impacts form climate variability and increasing water consumption on runoff in the Krishna river basis (India). *Hydrology and Earth System Sciences Discussion*, 3: 1249-1280
- Campos, D.F. (1992). Procesos del ciclo hidrológico, México. Universidad Autónoma de San Luis Potosí
- Cargouët, M., Pediz, D. & Levi, Y. (2007). Evaluation of estrogenic potential of river and treated waters in the Paris area (france) using in vivo and in vitro assays. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 67: 149-156
- Centerton, New Yersey: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology (Publications in Climatology, 10)
- Chahinian, N. & Moussa, R. (2007). Comparation of different multi-objective calibration criteria of a conceptual rainfall-runoff model of flood events. *Hydrology and Earth System Sciences Discussion*, 4: 1031-1067
- Chandrajith, R., Nanayakkara, S., Kozuyoshi, I., Aturaliya, T. N. C., Dissanayake, C. B., Abeysekera, T. & Koizumi, A. (2011). Chronic kidney disease of uncertain etiology (CKDue) in Sri Lanka: geographical distribution and environmental implications. *Environmental Geochemistry and Health*, 33 (3): 267-278
- Dallinga, J.W., Moonen, E.J.C., Dumoulin, J.C.M., Evers, J.L.H., Geraedts, J.P.M. & Kleinjans, J.C.S. (2002). Decreasing human semen quality and organochlorine compounds in blood. *Human Reproduction*, 17: 1973-1979
- de Anda, J. & González, F.F. (2012). *Calidad del agua en la presa de Aguamilpa, Nayarit, México*. Jalisco, México: CIATEJ. Pp. 326
- Dziesko, P. (2014). Land-cover modelling using corine land cover data and multi-layer perceptron. *Quaestiones Geographicae*, 33 (1), 5-22
- FAO-Food and Agriculture organization of the United Nations. (2010). *Global Forest Resources Assessment*. Roma
- Fearnside, P.M. (2005). Brazil's Samuel Dam: Lessons for Hydroelectric Development Policy and the Environmental in Amazonia. *Environmental Management*, 35(1): 1-19
- Fent, K., Escher, C. & Caminada, D. (2006). Estrogenic activity of pharmaceuticals and pharmaceutical mixtures in yeast reporter gene system. *Reproductive Toxicology*, 22: 175-185
- Forbes, W. F. & Hill, G. B. (1998). Is exposure to aluminum a risk factor for the development of Alzheimer disease?- yes. *Archives of Neurology*, 55: 740-741
- Gil, M.J., Soto, A.M., Usma, J.I. & Gutiérrez, O.D. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*, 7(2), 52-73
- Gunnarsson, L., Adolfsson, E.M., Björlenius, B., Rutgersson, C., Förlin, L. & Larsson D.G.J. (2009). Comparison of six different sewage treatment Processes-Reduction of estrogenic substances and effects on gene expression in exposed male fish. *Science of the Total Environment*, 407: 5235-5242
- Hernández, I.U., Ellis, E.A. & Gallo, C.A. (2013). Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz. *GeoFocus-Revista Internacional en Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 13: 1-24

IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). (2009). Estrategia General Para el Rescate Ambiental y Sustentabilidad de la Cuenca Lerma-Chapala. *Informe Final*. Pp. 268

Liney, K.E., Jobling, S., Shears, J.A., Simpson, P. & Tyler, C.R. (2005). Assessing the sensitivity of different life stages for sexual disruption in roach (*Rutilus rutilus*) exposed to effluents from wastewater treatment works. *Environmental Health Perspectives*, 113: 1299-307

Long, H., Heilig, G.K., Li, X. & Zhang, M. (2007). Socio-economic development and land-use change: Analysis of rural housing land transition in the Transect of the Yangtse River, China. *Land Use Policy*, 24: 141-153

Loya, C.J.O., Aguilar, E.S.A., Bravo, P.L.C. & Sánchez, F.E. (2013). Evaluación espacio-temporal del impacto del crecimiento urbano sobre la cobertura vegetal en la región fronteriza Nogales, México y Arizona, Estados Unidos, durante el periodo 1995-2010. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 9 (1): 124-140

Matozzo, V., Gagné, F., Marin, G.M., Ricciardi, F. & Blaise C. (2008). Vitellogenin as a biomarker of exposure to estrogenic compounds in aquatic invertebrates: A review. *Environment International*, 34: 531-545

McCartney M.P., Sullivan, C. & Acreman, M.C. (2001). Ecosystem impacts of large dams. Octubre 16, 2018, de IUCN, UNEP, WCD. Sitio web: https://www.researchgate.net/profile/Matthew_Mccartney/publication/45165880_Ecosystem_Impacts_of_Large_Dams/links/0deec538c8d836760c000000/Ecosystem-Impacts-of-Large-Dams.pdf

Müller, S. O. (2004). Xenoestrogens: mechanisms of action and detection methods. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 378: 582-587

Nakada, N., Nyunoya, H., Nakamura, M., Hara, A., Taisen, Iguchi, T. & Takada, H. (2004).

Identification of estrogenic compounds in wastewater effluents. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 12: 2807-2815

Nash, J.M.F, Kime, D.E., Van der Ven, L.T., Wester, P.W., Brión, F., Maack, G., Stahlschmidt, A.P. & Tiller, C.R. (2004). Long-term exposure to environmental concentrations of the pharmaceutical ethynylestradiol causes reproductive failure in fish. *Environmental Health Perspectives*, 112: 1725-1733

NOM-041-SSA1-1993: Bienes y servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones Sanitarias. Secretaría de Salud. *Diario Oficial de la Federación*, México. Pp. 6

NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salud. *Diario Oficial de la Federación*, México. Pp. 4

Olvera, C.L. (2013). *Gaceta Parlamentaria Número 3731-VIII*, Cámara de Diputados, LXII Legislatura, martes 19 de marzo de 2013. Recuperado el 7 de octubre de 2013 de <http://gaceta.diputados.gob.mx/Black/Gaceta/Anteriores/62/2013/mar/20130319-VIII/ProposicionUOR-1.html>

Osuna, O.A.K., Díaz, T.J.J., de Anda, S.J., Villegas, G.E., Gallardo, V.J. & Dávila, V.G. (2015). Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la Cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010. *Revista Ambiente y Agua*, 10(2): 350-362

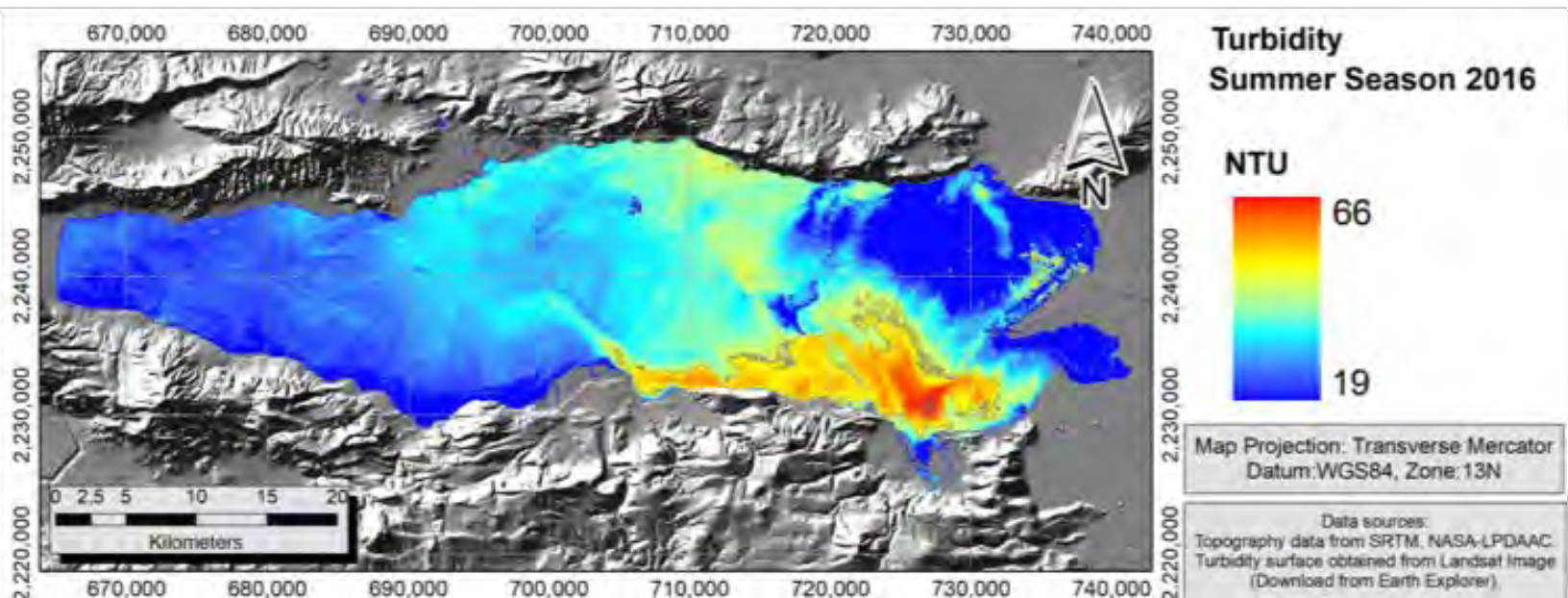
Panduro, R.Ma.G. (2015). Evaluación de la calidad del agua ante la enfermedad renal crónica en la zona oriente de Michoacán. Tesis de Maestría. PICYT-CIATEJ. Pp. 149

Parrot, J.L. & Blunt, B.R. (2005). Life-cycle exposure of fathead minnows (*Pimephales promelas*) to an ethynylestradiol concentration below 1 ng/L reduces egg fertilization success and demasculinizes males. *Environmental Toxicology*, 20: 131-141

- Pérez, M.O., Muñoz, V.L., Vázquez, G., Equihua, M. & León, P. (2011). Amenazas a los recursos hídricos. En: *Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, CONABIO* (Ed.). La biodiversidad en Veracruz: estudio de estado. México: CONABIO, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, 327-338
- Prosperi, C.H. (2002). Composición del fitoplancton del Embalse San Roque. *Revista de Tecnología y Ciencia*, 6(13): 8-10
- Rangel, P.J.G., de Anda, J., González, F.F. & Erickson, D. (2009). Water quality assessment of Aguamilpa reservoir, Nayarit, México. En: *Water Resources Management V.* (169-184). U.K.: C.A. Brebbia and V. POPOV, Wessex Institute of Technology
- Sabath, E. & Robles-Osorio, M. L. (2012). Medio ambiente y riñón: nefrotoxicidad por metales pesados. *Nefrología*, 32(3): 279-286
- Santillán, G.E., Dávila, V.G., de Anda, S.J. & Díaz, T, J.J. (2013). Estimación del balance hídrico mediante variables climáticas, en la cuenca del río Cazones, Veracruz, México. *Revista Ambiente y Agua*, 8(3), 104-0117
- Schlenk, D. (2008). Are steroids really the cause for fish feminization? A mini-review of in vitro and in vivo guided TIEs. *Marine Pollution Bulletin*, 57: 250-254
- Smithers, S. (2004). Environmental Flows: Restoring the balance. *Geodata*, 17(1): 1-5
- Snyder, S.A., Westerhoff, P., Yoon, Y. & Sedlak, D.L. (2003). Pharmaceuticals, personal care products, and endocrine disruptors in water: implications for the water industry. *Environmental Engineering Science*, 20 : 449-469
- Stuart, M., Lapworth, D., Crane, E. & Hart, A. (2012). Review of risk from potential emerging contaminants in UK groundwater. *Science of the Total Environment*, 416: 1-21
- Swan, S.H., Elkin, E.P. & Fester, L. (1997). Have sperm densities declinedTM. A reanalysis of global trend data. *Environmental Health Perspectives*, 105: 1228-1232
- Thattai, D., Kjerfve, B. & Heyman, W.D. (2003). Hydrometeorology and variability of water discharge and sediment load in the inner Gulf of Honduras, Western Caribbean. *Journal of Hydrometeorology*, 4: 985-995
- Thorntwaite, C.W. & Mather, J.R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1957. (Publications in Climatology, 10)
- USGS. (2014). United States geological survey. Emerging contaminants in the environment. En: <http://toxics.usgs.gov/regional/emc/18/05/2014>
- Vasconcelos, V., Martins, A., Vale, A., Antunes, A., Azevedo, J., Welker, M., López, O. & Montejano, G. (2010). First report on the occurrence of microcystins in planktonic cyanobacteria from Central Mexico. *Toxicon: official journal of the International Society on Toxinology*, 56: 425-431
- Ward, J., Andersen, M. S., Appleyard, S. & Clohessy, S. (2010). Acidification and trace metal mobility in soil and shallow groundwater on the Gngangara Mound, Western Australia. *19th World Congress of Soil Science, Soil Solution for a Changing World*. 1-6 August 2010, Brisbane, Australia
- Wetzel, R.G. & Linkens, G.E. (2000). *Limnological Analyses*. Estados Unidos de América. Springer
- WHO (World Health Organization). (2011). *Guidelines for Drinking Water Quality*. Geneva, Swiss: World Health Organization
- Yokoo, Y., Sivalapan, M. & Oki, T. (2006). Investigating the roles of climate seasonality and landscape characteristics on mean annual and monthly water balances. *Journal of Hydrology*, 357: 255-269

CAPÍTULO VI

OTROS ESTUDIOS DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS TECNOLÓGICOS ESPECIALIZADOS



Además de las sub-líneas de investigación oficiales ya referidas de la UTAM, desde hace algunos años también se han desarrollado proyectos en distintos temas de investigación, así como un número extenso de servicios especializados. Todos ellos encaminados a resolver diferentes problemáticas de los diferentes sectores productivos de la región y en atención a distintos fondos estatales y federales. Algunos de estos proyectos y sus resultados más destacados se describen en la presente sección.

Denominaciones de Origen

En la actualidad se llevan a cabo estudios técnicos y específicos relacionados con las "*Declaraciones de Protección de Denominaciones de Origen*" o las "*Solicitudes de Ampliación de las Denominaciones de Origen*". Empecemos por entender su origen legal y la definición formal de estos conceptos, ello permitirá poner en contexto la relevancia que estos distintivos tienen en los sectores productivo y económico tanto regional, nacional como internacional.

La *Ley de la Propiedad Industrial* fue publicada en el Diario Oficial de la Federación en 1991 (inicialmente con el nombre de Ley de Fomento y Protección de la Propiedad Industrial), y sus disposiciones son de orden público y de observancia general en toda la república. Dicha Ley fue sujeto de una reforma, adición y derogación de diversas disposiciones en 1994 (publicada en el Diario Oficial de la Federación, donde además quedó asentado el nombre que

actualmente ostenta). En Junio de 2016 sufrió una última reforma y es precisamente sobre esta en la que basaremos nuestra descripción. Esta Ley señala que tiene por objeto "Proteger la propiedad industrial mediante la regulación y otorgamiento de patentes de invención; registros de modelo de utilidad, diseños industriales, marcas, y avisos comerciales; publicación de nombres comerciales; *declaración de protección de denominaciones de origen*, y regulación de secretos industriales" (**Ley de la Propiedad Industrial (2016), Título Primero, Capítulo único, Artículo 2-V**).

El concepto o idea de "*Denominación de Origen*" se define en la misma norma como, el "nombre de una región geográfica del país que sirva para designar un producto originario de la misma, y cuya calidad o características se deban exclusivamente al medio geográfico, comprendido en éste los factores naturales y los humanos" (**Ley de la Propiedad Industrial (2016), Título Quinto, Capítulo I, Artículo 156**). Las *Declaraciones de Protección de Denominaciones de Origen* se gestionan ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) y es la única autoridad administrativa con la facultad para emitir dichas declaraciones y autorizar el uso de las mismas (**Ley de la Propiedad Industrial (2016), Título Primero, Capítulo único, Artículo 6-III**). Así mismo, la Ley referida en su Artículo 166 (**Título Quinto, Capítulo I**) señala "Los términos de la declaración de protección a una denominación de origen podrán ser modificados en cualquier

tiempo, de oficio a petición de parte interesada, siguiendo el procedimiento establecido en este capítulo. La solicitud relativa, deberá expresar lo exigido por las fracciones I a III del artículo 159 de esta Ley, y un señalamiento detallado de las modificaciones que se piden y las causas que las motivan". Esta última sentencia es la pauta a las "*Solicitudes de Ampliación de las Denominaciones de Origen*". Es decir, la integración de evidencia requerida por la autoridad y señalada en la Ley, para incorporar una nueva región geográfica del país a una *Denominación de Origen* existente.

La correcta aplicación de esta normatividad, más un desempeño eficiente de las instituciones oficiales y particulares involucradas, pretende conseguir beneficios tanto a productores (nos referimos aquí a toda la cadena productiva) como a consumidores: "por una parte, fomenta y favorece la organización del sector productivo, facilitando el acceso de los productores a los mercados nacionales e internacionales. Al solicitar la *Denominación de Origen* es el propio sector productivo el que proporciona un marco legal estricto para defender y proteger al producto de las denominaciones de origen falsas o susceptibles de inducir a error en cuanto a la procedencia geográfica o a la naturaleza y características del producto, evitando así el uso ilegal del mismo. De igual forma, a nivel regional, nacional e internacional, mejora la divulgación, promoción y la oferta del producto protegido" (<http://www.profeco.gob.mx/revista/publicaciones>).

En la actualidad México cuenta con quince declaratorias de denominación de origen amparadas por la Ley referida. Estas son la Talavera de Puebla y Tlaxcala, el Tequila y Mezcal, Ámbar de Chiapas, Café de Veracruz, Cacao Grijalva, Sotol, Café de Chiapas, Vainilla de Papantla, Arroz del Estado de Morelos, Chile Habanero de la Península de Yucatán, Mango Ataúlfo del Soconusco Chiapas, Charanda, y las piezas trabajadas en madera de Olinalá de Guerrero y la Bacanora (**IMPI-SE, 2016**). Estas cifras si bien son alentadoras, en comparación con las prácticas de protección de otros países del mundo son números bajos. Por ejemplo, sólo los Estados Unidos cuentan con más de 900 denominaciones similares donde se incluyen vinos, bebidas espirituosas y alimentos, mientras que países como Suiza poseen casi 700 de estas distinciones para grupos de productos del mismo tipo (**Giovannucci et al. 2009**). El contexto Internacional sobre este tema permite concluir que aún existe un camino largo por recorrer en nuestro país en la búsqueda de los beneficios económicos y sociales que pudiera otorgar este distintivo a numerosos productos de diferentes regiones del país.

La participación del CIATEJ en el tema de las *Denominaciones de Origen* tiene sus inicios en el año 2000 con la elaboración de los estudios técnicos y científicos que el IMPI requirió cuando el Gobierno del Estado de Michoacán y la Asociación de Productores de Charanda de la región de Uruapan solicitaron la "*Declaración de Protección de Denominaciones de Origen*" para

esta bebida. La Charanda es una bebida alcohólica, obtenida de la fermentación y destilación del jugo de la caña de azúcar. En 2003 fue publicada por la Autoridad Federal la “Declaratoria general de protección de la Denominación de Origen Charanda” (**Diario Oficial de la Federación, 27-08-2003**). Esta misma declaratoria, además indica la zona geográfica protegida señalando al Municipio de Uruapan como centro de origen o identidad de la Charanda y a 16 Municipios más como zonas aledañas productoras.

Otra de las bebidas alcohólicas con *Denominación de Origen* y con reconocimiento nacional e internacional es el Mezcal. En 1994 el Gobierno Mexicano le otorgó este distintivo oficial a dicha bebida (**Diario Oficial de la Federación, 28-11-1994**). A partir de esta fecha se ha recurrido a “*Solicitudes de Ampliación de las Denominaciones de Origen*” en al menos cinco ocasiones por los Gobiernos de distintos Estados de la República y las diferentes Asociaciones Productivas y/o Económicas relacionadas, buscando incluir a algunas poblaciones productoras de sus territorios bajo los beneficios de esta denominación. La Figura 6.1 muestra ejemplos de las numerosas marcas que existen en el mercado nacional de esta bebida catalogada como espirituosa.

Principalmente la UTAM, en colaboración con otras de las Unidades de Investigación del CIATEJ entre el periodo 2005-2016, ha sido la responsable de la elaboración de los estudios

técnicos y científicos que la autoridad solicitó para sustentar algunas de estas ampliaciones. La tabla 6.1 muestra la información básica de estas contribuciones relacionadas con la *Ampliación de la Denominación de Origen* del Mezcal.



Figura 6.1. Variedad de marcas de mezcal disponibles en los mercados nacional e internacional.

Tabla 6.1. Estudios técnicos y científicos de solicitud o ampliación de la *Denominación de Origen* en los que la UTAM ha participado.

Estado que requirió la Solicitud ¹ o Ampliación ² de la Denominación de Origen	Producto	No. Municipios considerados en la solicitud	Año en que se realizó el estudio técnico científico	Estatus de la solicitud
Michoacán, municipio de Uruapan ¹	Charanda	16	2000-2002	Denominación otorgada ^a
Michoacán ²	Mezcal	29	2005	Ampliación otorgada ^b
Guanajuato ²	Mezcal	1	2010	Ampliación otorgada ^c
Puebla ²	Mezcal	116	2014	Ampliación otorgada ^d
Morelos ²	Mezcal	23	2014	Ampliación otorgada ^e
Estado de México ²	Mezcal	15	2015	Ampliación otorgada ^f
Aguascalientes ²	Mezcal	7	2016	Ampliación otorgada ^g
Jalisco ¹	Mezcal Chile Yahuatlca	11 ³	2016	Denominación Otorgada ^h

^aDOF 27/08/2003; ^bDOF 22/11/2012; ^cDOF 02/10/2015. Existe una Ampliación de Denominación de Origen para el municipio de San Felipe y que fue publicada en el DOF 29/11/2001 cuyo estudio técnico no fue realizado por CIATEJ; ^dDOF 24/12/2015; ^eDOF 09/08/2018; ^fDOF 08/08/2018; ^gDOF 16/03/2018. ^hDos de estos municipios corresponden al Estado de Zacatecas.

En el periodo 2014-2016 se llevaron a cabo el mayor número de estudios para que posteriormente los gobiernos interesados realizaran las solicitudes correspondientes de ampliación de dicha denominación, siendo estos los estados de Puebla, Morelos, Estado de México y Aguascalientes, y en lo que va del 2018 todas las ampliaciones solicitadas fueron otorgadas por el IMPI. Los nombres oficiales de algunos de los estudios realizados por la UTAM son:

"Estudio técnico justificativo para delimitar el área geográfica de producción de mezcal en el estado de Aguascalientes para solicitar su inclusión en la denominación de origen del Mezcal."

"Estudio técnico justificativo para delimitar el área geográfica de producción de mezcal en el estado de Estado de México para solicitar su inclusión en la denominación de origen del Mezcal."

Considerando todos los estudios técnicos y científicos realizados por el CIATEJ relacionados con las solicitudes de ampliación de la Denominación de Origen del Mezcal, al menos 190 municipios de los estados involucrados se espera obtengan beneficios económicos y sociales por un incremento en la producción y comercialización de esta bebida.

Entre las más recientes participaciones de la UTAM sobre el tema se encuentra la *"Elaboración del estudio técnico justificativo para establecer la Denominación de Origen Yahuahualica"*.

Este último término se relaciona con el nombre oficial del municipio Yahuahualica de González Gallo, localizado en la región centro norte del Estado de Jalisco, caracterizado por la producción alta de una variedad de chile de árbol con un valor comercial importante, siendo este último el producto al cual se le otorgo este distintivo. Diferentes asociaciones productoras de esta variedad de chile de municipios como Yahuahualica e Ixtlahuacán del Río, así como autoridades de distintas dependencias del Gobierno Estatal hicieron la solicitud del estudio técnico y científico al CIATEJ y sus Unidades de Investigación ya referidas. Durante marzo de 2018 fue oficial que el IMPI otorgara el distintivo referido, lo que permitirá que el sector productivo del chile Yahuahualica pueda crecer en un mediano plazo.

Sobre las características técnicas de este tipo de estudios llevados a cabo por la UTAM, es importante destacar que son necesariamente de carácter multidisciplinario. Por una parte se incluye información relativa a diversos factores humanos y culturales. Entre los primeros podemos mencionar aquellos aspectos históricos relacionados con la elaboración del producto de interés en una o varias regiones geográficas, para ello es necesario la consulta de archivos históricos estatales o federales.

También se recurre a la recopilación de evidencia física de la actividad productiva involucrada en ocasiones de decenios de años atrás, para ello se visitan edificios en ruinas (como haciendas o talleres) con utensilios usados en la elaboración (evidencia histórica del proceso de elaboración), fotos antiguas, testimonios de la gente de las comunidades, información que poseen incluso los cronistas locales, etc. (Figura 6.2).



Figura 6.2. Molienda artesanal de piñas cocidas de agave en tahona para la extracción de jugos del bagazo. Fuente: <https://www.google.com.mx/search?>

Respecto a la parte cultural, se debe dar evidencia de la importancia que tiene el producto en la vida de las poblaciones relacionadas, como son festivales regulares en torno al producto, que dicho producto esté presente en tradiciones y costumbres, que el producto demuestre elementos como símbolo de identidad y pertenencia de las comunidades, y que además sea parte de la cultura y el arte, de la literatura, la música, el folclore, e incluso que el producto sea motivo del impulso a otras actividades económicas como el turismo de la región. Por otra parte, la búsqueda de información bibliográfica sobre el entorno físico

también es relevante, se describen el tipo de clima, el suelo y sus características físicas, la hidrología del lugar, el tipo de vegetación de las regiones, etc. Toda esta cantidad tan vasta de información en la mayoría de los casos es sujeta a ser visualizada e interpretada de una manera mejor gracias al apoyo de los Sistemas de Información Geográfica (SIGs, tema que se abordará más adelante), los cuales generan la cartografía que facilita la tarea de su interpretación.

Al mismo tiempo y según las características del producto, se analizan muestras de este, muestras del mismo durante el proceso de elaboración, así como de las materias primas. La idea de estos análisis (químicos, fisicoquímico, biológicos, sensoriales, etc.), muchos de ellos llevados a cabo con equipos analíticos muy sofisticados dentro de laboratorios especializados del CIATEJ, es soportar que el producto es único respecto de otros y que posee determinadas características que reafirman esta condición, la cual es inigualable. Y que estas características lo hacen ser apreciado por un sector de la población que lo prefiere y busca, generando una demanda y un mercado de consumo, posicionándolo en clara ventaja sobre otros productos semejantes.

Aunque no es el objetivo de este capítulo abordar los argumentos en torno a las ventajas, desventajas, y al éxito relacionado a las

Denominaciones de Origen, existen cuatro componentes que se considera son imprescindibles para su éxito. Estos son: "1) La presencia de *Estructuras organizativas e institucionales sólidas* para mantener, comercializar y controlarlas. El complejo proceso de identificar y demarcar correctamente una *Denominación de Origen*, organizar las prácticas y normas vigentes y establecer un plan para su protección y comercialización requiere la creación de instituciones y estructuras de gestión locales que demuestren un compromiso a largo plazo con los métodos de cooperación participativa; 2) *Participación equitativa* entre productores y empresas de una región con *Denominación de Origen*. Se entiende aquí por equitativa, la participación de los residentes de una región con este distintivo que comparten no sólo los costos y beneficios, sino también el control y las decisiones sobre sus bienes públicos; 3) *Socios comerciales solventes* que se comprometan a promover y comercializar las *Denominaciones de Origen* a largo plazo. Muchos de los éxitos comerciales de las *Denominaciones de Origen* son fruto de los esfuerzos de promoción y comercialización coherentes y a largo plazo de socios comerciales solventes; 4) *Protección jurídica eficaz* que incluya un sólido sistema nacional de protección de las *Denominaciones de Origen*. Las opciones de protección cuidadosamente elegidas permitirán el control y la observancia eficaces en los mercados pertinentes para reducir las posibilidades de fraude que comprometan la reputación de las

Denominaciones de Origen e, incluso, su valor (**Giovannucci et al. 2009**).

Contaminación del Aire

La Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) es uno de los asentamientos humanos más importantes de nuestro país. La cantidad de personas que en ella habitan inevitablemente se vincula a numerosas industrias y con un enorme parque vehicular necesario para garantizar su movilidad diaria. Si bien es cierto que industria y vehículos son indispensables para el desarrollo social y económico de una población, ellos son también el origen de problemas severos de contaminación en suelo, agua y aire. En el caso puntual del parque vehicular, esta es la fuente principal de contaminantes emitidos al aire. La ZMG según reportes oficiales de la calidad del aire frecuentemente padece de días con concentraciones elevadas de partículas y ozono (este último formado principalmente por la interacción entre óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles).

En el caso de las partículas (tamaños conocidos como $PM_{2.5}$ y PM_{10} , partículas menores o iguales a 2.5 micras y menores o iguales a 10 micras, respectivamente), desde el año 2006 en la UTAM se han realizado actividades de investigación referente a su composición química (orgánica e inorgánica), la variación en sus concentraciones, su probable origen o

fuentes de emisión, encontrando evidencia de la existencia de algunos procesos atmosféricos relacionados con la formación secundaria de partículas (no emitidas directamente de la fuente de combustión). La tabla 6.2 contiene información general de los proyectos y algunos datos relevantes.

La primera identificación de las fuentes de emisión de las $PM_{2.5}$ en 2007 fue en la zona Centro de la ciudad y en la zona industrial de Miravalle (ubicada al sur). Las concentraciones medias anuales de $PM_{2.5}$ fueron mayores en Miravalle. Las fuentes de emisión de las $PM_{2.5}$ se establecieron por el contenido de especies elementales, tales como Pb, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ca, Mg, Mn, Mo, Ni, Sb, Se, Sr, Ti, Tl, V y Zn, determinadas mediante la técnica analítica de ICP-Masas. Los datos de sus concentraciones fueron analizados mediante estadística multivariada (Análisis de Componentes Principales-ACP- y Análisis de Cluster-AC-) y otras herramientas como el Factor de Enriquecimiento (FE). La principal conclusión de este estudio fue que la zona Centro presento partículas con una abundancia mayor de especies elementales de origen geológico

(inferido a partir de los dos primeros componentes principales), probablemente por la resuspensión de partículas de polvo del suelo, ya sea por el viento o por los vehículos en circulación. Para Miravalle la composición sugiere un origen tanto de fuentes geológicas como antropogénicas, estas últimas probablemente debidas a su intensa actividad industrial y vehicular (**Saldarriaga et al. 2009**). El estudio de la composición elemental de las $PM_{2.5}$ en estos mismos sitios se extendió de enero a junio de 2008 (**Saldarriaga et al. 2011**). Ello permitió confirmar algunas tendencias, como las concentraciones mayores de las $PM_{2.5}$ en Miravalle. Los elementos referidos representan casi un 2% de la masa de las partículas en Centro y Miravalle. Esta contribución baja abre la posibilidad de que otras especies, orgánicas e inorgánicas, tengan un aporte mayor a la masa de las partículas. Además, el orden de abundancia de los elementos principales fue $Fe > Ti > Zn > Mg$. De ellos el Fe contribuyó con un 40 a 58% de la masa elemental con un probable origen geológico.

Tabla 6.2. Información general de los proyectos relacionados con calidad del aire que han sido ejecutados en la UTAM en poco más de diez años de investigación.

Periodo de muestreo	Sitios	Tamaño de partícula	Concentración promedio ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Compuestos químicos analizados	Proyecto	NOM-025-SSA1 1993 and 2014
Enero a diciembre, 2007	Centro	PM _{2.5}	44.10 ¹	Metales pesados y elementos tóxicos (Saldarriaga et al. 2009), Aniones y Cationes (Hernández et al. 2010a), Carbono Negro** (Hernández et al. 2011a).	<i>Calidad del aire.</i>	
	Miravalle		52.80 ¹			
Enero a junio, 2008	Centro	PM _{2.5}	59.09 ^{1,2}	Aniones y Cationes (Hernández et al. 2010b), Metales pesados y elementos tóxicos (Hernández et al. 2011b; Saldarriaga et al. 2011), y Carbono Negro*** (Limón et al. 2011).	<i>Calidad del aire.</i>	NOM-025-SSA1-1993 ⁴ PM ₁₀ 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 hrs.)
	Miravalle		81.36 ^{1,2}			
Mayo 25 a junio 6, 2009	Centro	PM _{2.5}	39.30	Metales pesado y elementos tóxicos, Aniones y Cationes (Murillo et al. 2015). Metales pesados y elementos tóxicos, Aniones y Cationes, Carbono Negro (INE, 2009).	<i>Estudio preliminar de compuestos tóxicos en aire ambiente en la zona Metropolitana de Guadalajara.</i>	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual)
	Miravalle		58.00			
	Centro	PM _{2.5}	21.00			
	Miravalle AUG		37.00 21.00			
Centro AUG		PM ₁₀	46.00			PM _{2.5} 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 hrs.) 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual)
	Miravalle		79.00			
	AUG		43.00			
Abril de 2009 a enero de 2010	Centro	PM _{2.5}	33.00 ³	Oxi-HAP (Flores-Arriola, 2012).	<i>Calidad del aire.</i>	
	Miravalle		45.00 ³			
Abril 6-18, 2013	-El Salto de J.*	PM ₁₀	187.83	Aniones y Cationes (Hernández et al. 2017) ****	<i>Diagnóstico integral del Polígono de Fragilidad Ambiental (POFA) de la Cuenca de El Ahogado y Generación de un Plan de Acción para su Restauración.</i>	NOM-025-SSA1-2014 ⁵ PM ₁₀ 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 hrs.)
	-Delegación Castillo* -Iglesia de la Santa Cruz*	PM _{2.5}	29.33			
Marzo-mayo, 2014	Centro	PM _{2.5}	57.07 ³	HAP y quinonas (Barradas-Gimate, 2016; Barradas-Gimate et al. 2017)	<i>Marcadores químicos orgánicos para la identificación de fuentes secundarias de partículas sub-micrón (PM_{1.0}) en una zona urbana</i>	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual)
	Tlaquepaque		61.68 ³			
Julio-septiembre, 2014	Centro		28.97 ³			PM _{2.5} 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 hrs.) 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual)
	Las Águilas		28.23 ³			
Agosto 24-30, 2014	Oblatos	PM _{2.5}	22.67	Carbono Negro y COV (INECC, 2014)	<i>Evaluación de PM_{2.5}, compuestos orgánicos volátiles y ozono para definir medidas de control en la Zona Metropolitana de Guadalajara: Etapa III.</i>	
	Loma Dorada		15.67			
	Las Pintas		30.00			
	Las Águilas		17.33			
	Centro		17.00			
Abril-junio, 2015	Centro	PM ₁	30.92	HAP y quinonas (Ojeda-Castillo et al. 2018a)	<i>Marcadores químicos orgánicos para la identificación de fuentes secundarias de partículas sub-micrón (PM_{1.0}) en una zona urbana</i>	
	Tlaquepaque		21.80			

Un análisis más profundo de los datos de este periodo (enero a junio 2008) permitió estimar un valor de FE para cada elemento (**Hernández et al. 2011b**). El FE se estima a partir de las concentraciones de los elementos en las partículas respecto de un elemento de referencia y su concentración en el suelo. Si el valor de $FE < 1$, entonces se sugiere un origen geológico, mientras que si el $FE > 5$ posee un origen antropogénico. Así Pb, Fe, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Sb, Se y Zn son de emisión antropogénicas, en ambos sitios. En el caso de Fe, Ti y Mg como más abundantes, tuvieron $FE < 5$ indicio de un origen geológico, probablemente por la resuspensión de partículas del suelo por el paso de vehículos o por la intensidad del viento. Indicio de la importancia de las fuentes geológicas al definir los niveles de las $PM_{2.5}$. Asimismo, el perfil de composición elemental de estas partículas pudo ser relacionado con una base de datos internacional que contiene los perfiles de las $PM_{2.5}$ provenientes de distintas fuentes de emisión (SPECIATE V4.2, USEPA). Para las zonas Centro y Miravalle las similitudes se establecieron con los perfiles de polvo de caminos pavimentados, emisiones de diésel y suelo industrial. De esta manera se estableció con más especificidad la fuente o actividad relacionada con la emisión. Un estudio más reciente de la composición elemental de las $PM_{2.5}$ (mayo a junio de 2009) confirmó al Fe como una de las especies más abundantes en este tamaño de partículas. Otros elementos abundantes fueron Cu, Zn y Mg, los cuales son

de interés a la salud de la población ya que se caracterizan por sus propiedades tóxicas. Estos cuatro elementos en su origen pueden ser asociados a fuentes naturales o antropogénicas (**Murillo et al. 2015**).

Otros componentes determinados en las $PM_{2.5}$ en los mismos sitios (en 2007), fueron algunos iones inorgánicos (aniones y cationes) (**Hernández et al. 2010a**). El sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) en Centro y Miravalle resultaron los compuestos más abundantes. Estos derivan de precursores primarios en fase gas, tales como NO_x (óxidos de nitrógeno) y SO_2 (dióxido de azufre) originados por la quema de combustibles fósiles, que experimentan una serie de reacciones atmosféricas secundarias (de aquí el nombre de especies secundarias). Algunas variables como la humedad del aire, la temperatura y la radiación solar son importantes en la generación de estas especies secundarias. Excepto sulfato, las demás especies no mostraron diferencias en sus concentraciones entre sitios; así mismo, tampoco hubo diferencias de sus concentraciones entre temporadas (salvo NH_4^+ en Miravalle). Esto sugiere la existencia de fuentes y procesos atmosféricos en común en dos diferentes sitios de la ZMG y a lo largo de las distintas temporadas del año. Al mismo tiempo, la relación $\Sigma aniones / \Sigma cationes$ sugiere en Centro partículas de naturaleza ácida y en Miravalle ligeramente alcalinas. Este resultado se ajustó bien a la relación NH_4^+ / SO_4^{2-} , la cual establece si

hay abundancia o carencia de amonio. Si $\text{NH}_4^+/\text{SO}_4^{2-} > 2$ sugiere su abundancia o condiciones alcalinas por las propiedades químicas de esta especie. Un valor inferior sugiere ausencia de amonio, es decir condiciones ácidas. En Centro la estimación fue 1.58, es decir una condición ácida y en Miravalle 1.91, es decir una condición con tendencias a la alcalinidad. La relevancia de estos resultados radica en que las formas ácidas de los sulfatos pueden influir en la biodisponibilidad de algunos metales, los cuales han sido asociados fuertemente por contribuir a la toxicidad de las partículas (**Ghio, 1999**). Actualmente poco se sabe acerca de los efectos potenciales a la salud asociados con la inhalación de partículas alcalinas (**Chung et al. 2001**).

La caracterización de iones en las $\text{PM}_{2.5}$ continuó hasta la primera mitad de 2008 (**Hernández et al. 2010 b**), confirmando que los sulfatos, nitratos y amonio son las principales especies secundarias. Esto se vincula con los gases precursores de estas especies que derivan de la combustión de gasolinas de origen fósil, la principal fuente de su origen. La ausencia de diferencias estadísticas en sus niveles entre Centro y Miravalle, indica que no existe un gradiente de concentraciones del centro al sur de la ZMG en este periodo. En ese mismo año una campaña corta de muestreo en Centro estimó en 6.2% la transformación de NO_2 a nitrato y en 24% de SO_2 a sulfato. En temporadas de calor como primavera y verano se han reportado conversiones más altas de

estos precursores a sus correspondientes compuestos secundarios. En parte esto se explica por las concentraciones elevadas de radicales OH (no medido) en días de temperatura alta (**Saldarriaga et al. 2012**).

Las especies químicas antes mencionadas se identificaron en contaminantes particulados colectados con equipos como el que ilustra la Figura 6.3.



Figura 6.3. Equipo partisol modelo 2300 ubicado en la estación Tlaquepaque, el cual permitió la colecta de partículas $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} para la determinación de compuestos orgánicos como los HAPs y quinonas. Espuma de poliuretano fueron empleadas para el muestreo de dichos compuestos, pero en la fase gas.

Otro de los contaminantes estudiados, entre el periodo 2007 y 2008, que componen a las $\text{PM}_{2.5}$ es el carbono negro (BC, por sus siglas en inglés) o carbón elemental (**Hernández et al. 2011a; Limón et al. 2011**). El BC es un indicador de emisiones primarias, principalmente de la

combustión incompleta de diésel o de la quema de biomasa; debido a sus características de porosidad, absorción y enorme área superficial, proporciona sitios adecuados para reacciones químicas atmosféricas importantes y favorece el acarreo de compuestos químicos (algunos de ellos cancerígenos) al interior del sistema respiratorio de las personas. Se ha documentado la importancia del BC sobre la atmósfera y el clima, ya que es una especie química que puede absorber la radiación solar, resultando en un calentamiento de las partículas y de la atmósfera circundante. La determinación de las concentraciones de BC asociadas a las $PM_{2.5}$ se hicieron con un equipo llamado Aethalómetro, el cual genera los datos prácticamente en tiempo real, y permitió determinar la variación de sus concentraciones con una resolución de minutos en Centro y en las instalaciones del CIATEJ).

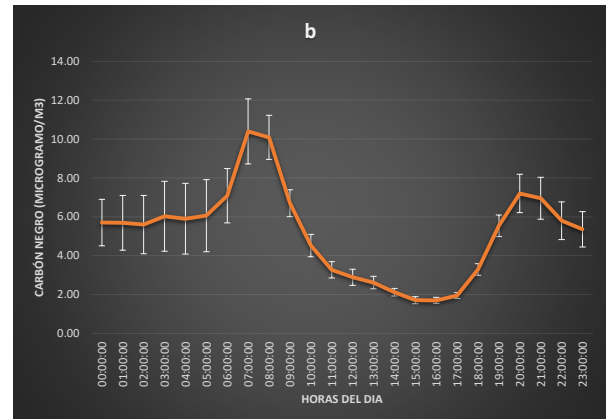
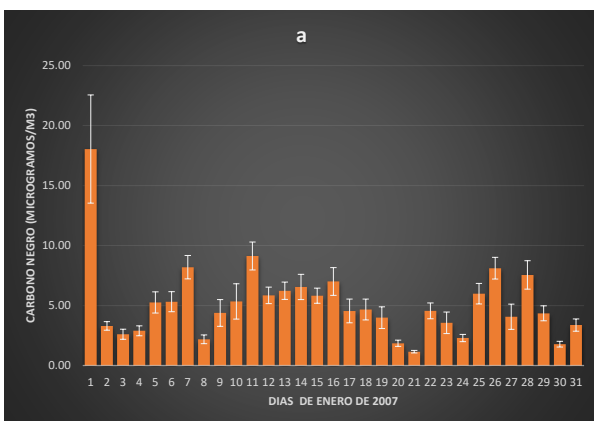


Figura 6.4 a.- Concentraciones promedio diarias de carbono negro ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante enero de 2007. El valor atípico del día primero corresponde al registro de este contaminante por las quemas desmedidas de madera y otros materiales durante las celebraciones de fin de año. b.- Variación a lo largo de las 24 horas del día de las concentraciones de carbono negro. Se aprecian periodos de elevadas y bajas concentraciones.

Se destaca durante 2007 que las concentraciones de BC en los meses fríos (noviembre y diciembre) en los dos sitios resultaron mayores que en otras temporadas (secas cálidas y lluvias). Las condiciones atmosféricas en esta temporada son menos favorables para la dispersión de los contaminantes, lo que ocasiona el incremento de sus concentraciones. Además, se observó la variación de las concentraciones del BC a lo largo de las 24 horas del día (promedios mensuales de todo el año). Entre las 06:00 y 09:00 a.m. se registraron las concentraciones más altas, al parecer por la actividad vehicular intensa durante la movilización de la población a sus actividades diarias y por las condiciones de estabilidad atmosférica, temperaturas bajas y vientos débiles. La Figura 6.4 muestra parte del comportamiento observado del BC durante el mes de enero de 2007 en promedio por día y en promedio por hora durante periodos de 24 horas.

Entre las 19:00 y 23:00 p.m., según la temporada del año, un segundo incremento en las concentraciones fue observado y relacionado con el regreso a casa de la mayoría de los habitantes tras concluir la jornada laboral. Este incremento es ligeramente menor al de la mañana, en cierta medida por ocurrir bajo condiciones más favorables para la dispersión de contaminantes.

Entre las 12:00 y 18:00 p.m. las concentraciones se mantienen en descenso y bajas por una actividad antropogénica menor y porque los frecuentes episodios de inversión térmica justo terminan en este periodo. Las concentraciones de BC en Centro tuvieron correlaciones importantes con CO, NO_x y SO₂, indicio de una fuente en común, principalmente los vehículos a diésel y gasolina. El BC no mostró una correlación con el ozono, este último un contaminante secundario, reafirmando la evidencia de su relación con las emisiones directas.

El estudio del BC continuó en 2008 en Centro y en Miravalle, y al mismo tiempo se llevaron a cabo muestreos de partículas PM_{2.5} (periodo enero-agosto del mismo año). Respecto a las PM_{2.5} se destaca que el 79% de los datos estuvieron por arriba del límite establecido por la norma vigente en ese año (65 µg/m³, NOM-025-SSA1-1993). Para el BC se observaron los mismos patrones de variación de concentraciones en 24 horas agrupando la

información por temporadas, con niveles mayores durante la temporada seca (enero a mayo). Asimismo, se pudo estimar que el BC comprende menos del 10% de la concentración de las PM_{2.5}. En el caso de Centro la relación de las concentraciones de BC y la velocidad del viento sugiere que puede estar relacionado principalmente con el tráfico local, mientras que en Miravalle el transporte regional de contaminantes o proveniente de largas distancias pudiera ser importante (**Limón et al. 2011**).

Dentro de las actividades de investigación en este tema de los contaminantes particulados, en los últimos años se han llevado a cabo participaciones en trabajos sobre caracterización de especies orgánicas en otras ciudades del país. Tal es el caso de compuestos como los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) en PM₁₀ (partículas menores o iguales a 10 micras) en algunos sitios de la Ciudad de México (**Amador et al. 2013**). Estos mismos HAPs han sido cuantificados en las PM_{2.5}, así como algunos de los principales iones secundarios, en muestras en la Ciudad de Cuernavaca, Morelos (**Saldarriaga et al. 2014; 2015**).

Actualmente como parte de un proyecto de ciencia básica se está trabajando principalmente en la caracterización de compuestos orgánicos como los HAPs y quinonas en partículas PM_{2.5} y PM₁ (en este último caso tanto en partículas como en la fase gas, Figura 6.5). HAPs y

quinonas en la ZMG, las primeras precursoras de las segundas, son de interés por sus efectos biológicos y posibles impactos negativos a la salud de la población. Algunas de las características tóxicas de estos compuestos son: capacidad para inducir mutaciones, probada carcinogenicidad, generadores de estrés oxidativo, entre otros. Al mismo tiempo se está tratando de cuantificar los porcentajes de conversión entre HAPs y quinonas, proceso que es favorecido por factores como la radiación solar elevada, situación que caracteriza a la ZMG dada su ubicación geográfica (esta parte del estudio fue realizada en Tlaquepaque, Figura 6.3). En esta estimación de dichas conversiones se incluyen a las especies referidas tanto en la fase particulada como en la fase gas. En este proyecto colaboran colegas del CIATEJ y de instituciones como la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Algunos de los resultados más interesantes sobre esta parte orgánica de contenido de HAPs y quinonas de las partículas puede consultarse en las publicaciones de **Barradas-Gimate et al. (2017)** y **Ojeda-Castillo et al. (2018)**. En el caso de las $PM_{2.5}$ y su contenido de quinonas, uno de los principales hallazgos es que al menos para las condiciones ambientales y de emisión de precursores, algunas de las quinonas estudiadas provienen de fuentes de emisión directa por la quema de gasolinas y diésel, y no de una transformación secundaria como habitualmente se ha reportado en otras ciudades. No obstante, dependiendo de la quinona de interés, se pudo demostrar que en

algunas ocasiones las condiciones del entorno son más favorables para que sean originadas por una transformación secundaria de sus precursores, favorecida también por la incidencia alta de radiación solar.



Figura 6.5 Muestras de partículas PM_1 colectadas en la estación Tlaquepaque para la determinación de compuestos orgánicos como los HAPs y quinonas.

La presencia de quinonas en partículas más pequeñas tales como las PM_1 sugieren que su origen es principalmente primario, ello también respaldado por los resultados de asociación con sus HAPs precursores, contaminantes criterio y parámetros meteorológicos. Así mismo, la abundancia de especies de HAPs como el naftaleno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, y antraceno en PM_1 sugiere su degradación fotoquímica en especies aún por identificar (**Ojeda-Castillo et al. 2018**).

De esta forma, el estudio de la polución del aire, y particularmente de aquellos contaminantes particulados, nos ha permitido generar información valiosa sobre una parte de la composición química de aquellas partículas de pequeños tamaños. La relevancia de los datos y

la información generada por estos estudios radica en la mejor comprensión de uno de los contaminantes atmosféricos relacionados con altos índices de morbilidad y mortalidad de las grandes áreas urbanas. Estos efectos en la salud de las poblaciones humanas se deben en parte a que su pequeño tamaño les permite ingresar en lo más profundo del sistema respiratorio y acarrear a estos sitios la enorme diversidad de compuestos químicos que las componen. Continuar con la caracterización química de estos contaminantes particulados se vuelve fundamental si en la ZMG se pretenden generar condiciones ambientales de un menor riesgo de efectos negativos a la salud de su población.

Sistemas de Información Geográfica (SIGs)

Los *Sistemas de Información Geográfica (SIGs)* son, básicamente, herramientas informáticas que procesan y analizan datos con alguna componente espacial. Esta herramienta está diseñada para la adquisición, almacenamiento, análisis y representación de datos espaciales. Una característica esencial de los SIGs es que trabajan con mapas y a partir de ellos pueden realizar operaciones de análisis espaciales, utilizando datos de esta naturaleza y algunos de sus atributos, lo que permite obtener nuevos mapas de información. Los campos tradicionales de la aplicación de los SIGs son la gestión catastral y de propiedad urbana, el medio ambiente, la planificación urbana y el control de grandes redes (por ejemplo, telecomunicaciones y agua), y en la actualidad su aplicación se ha extendido a cualquier campo

científico, técnico, empresarial, etc., en el que se trabaje con datos espaciales (**Ordoñez y Martínez, 2003**).

En la UTAM los SIGs han contribuido de forma valiosa en la interpretación de la información espacial de distintos proyectos desarrollados en los últimos años. En este sentido, a continuación se hace una breve descripción de las aplicaciones y principales hallazgos por su utilización.

Una de las primeras contribuciones de la aplicación de los SIGs fue en el análisis geomorfológico de la cuenca de El Ahogado a partir de dos Modelos Digitales de Elevación (*MDE*) con diferentes resoluciones. Esto a través de la caracterización de las condiciones naturales de la morfología que existían hasta antes de la expansión urbana, por medio de un *MDE* de resolución media, y por el contraste respecto a la condición alterada del terreno, representada por un modelo de alta resolución espacial (**Díaz-Torres et al. 2013**). La caracterización fue estimada a partir de índices geomorfológicos como la pendiente, la integral hipsométrica (reflejan inclinación y distribución del terreno), y el orden jerárquico de cauces y el índice SA (exhiben características de la red de drenaje asociadas con la acumulación de efluentes, así como la relación del área de aporte y el gradiente en secciones de cauces, respectivamente). Algunas de las principales conclusiones de este trabajo fueron, que el área urbana de Guadalajara durante los últimos 40 años tuvo un crecimiento extraordinario, pero

durante el periodo 2000-2010 casi duplica su tamaño. La obstrucción del proceso de infiltración al suelo debido a la pavimentación de estas áreas urbanas reduce la capacidad de recarga del acuífero Toluquilla, y la limitada cantidad de agua de recarga está expuesta a un fuerte deterioro. La reducción del volumen de infiltración natural también favorece el escurrimiento superficial y ayuda a que este se acumule con mayor rapidez en zonas planas.

Además, la contención del escurrimiento en la parte baja de la cuenca ante la presencia del canal de Atequiza y el conjunto de presas en la zona determina condiciones ambientales que inciden en el detrimento de los cuerpos de agua superficiales, los cuales están expuestos a fuentes puntuales y difusas de contaminación localizadas a lo largo de los principales arroyos y canales del sistema de drenaje. Estas fuentes de contaminación aportan grandes volúmenes de sedimentos, partículas orgánicas e inorgánicas, nutrientes, plaguicidas, así como descargas municipales en las que se vierten sustancias tales como solventes, combustible, metales pesados, o agentes patógenos.

Otro ejemplo concreto del empleo de los SIGs es su aplicación en el análisis de la distribución espacial de los datos de la calidad de agua para consumo humano (parámetros fisicoquímicos y químicos) en seis municipios de las regiones Oriente y Cuitzeo de Michoacán, en los cuales hay evidencia de un número elevado de casos de Enfermedad Renal Crónica (**Panduro-Rivera,**

2015). Los SIGs proporcionaron los algoritmos necesarios para realizar de manera sistemática cálculos matemáticos para la interpolación de variables siguiendo tres pasos, 1) Análisis exploratorio de los datos, 2) Análisis estructural y 3) Predicción (**Moral 2004**). La interpolación espacial *Kriging* aplicada a los datos de parámetros de calidad del agua se llevó a cabo mediante el software *ArcGis 10* con la extensión *Geoestatistical Analyst*. Esta herramienta predice valores en ubicaciones no muestreadas, creando así superficies continuas con valores estimados. La interpolación *Kriging* es un método analítico que se basa en la premisa de que la variación espacial del fenómeno representado por los valores Z de la serie, es estadísticamente homogénea a lo largo de la superficie (**De Smith et al. 2007**). Este método de interpolación consiste en efectuar una ponderación, es decir, atribuir un peso a cada muestra y que el cálculo del mismo consiga la varianza mínima de la estimación resultante, considerando las características geométricas de la muestra; además, atribuye pesos débiles a las muestras alejadas y pesos fuertes a las muestras más cercanas (**Matheron, 1969**).

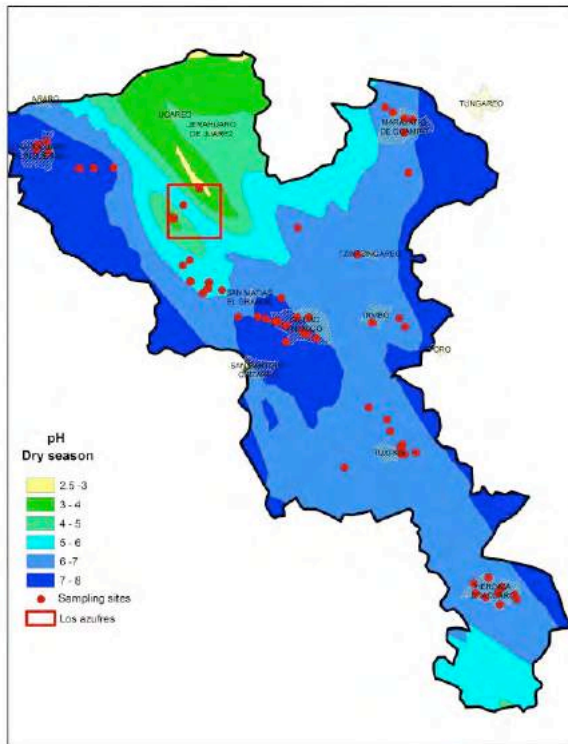


Figura 6.6. Cartografía de la variación de pH en las regiones oriente y Cuitzeo de Michoacán, durante un estudio de calidad del agua y su probable relación con la enfermedad renal crónica. En rojo los puntos de muestreo principalmente en los asentamientos humanos más representativos.

La figura 6.6 muestra el resultado de este análisis de extrapolación en la zona de estudio, al menos para la variación de los niveles de pH, variable de interés y que probablemente pudiera estar relacionada con la frecuencia alta de casos de Enfermedad Renal Crónica en las regiones de estudio. En concreto se establece los probables niveles de pH y su variación en la temporada de estiaje de la zona de estudio. Puede apreciarse como a través de esta herramienta incluso se permite visualizar los niveles de este parámetro en áreas y poblaciones no muestreadas. Ello permite tener una idea del potencial riesgo de exposición de la población al pH, vía el consumo de agua de fuentes naturales como pozos y manantiales en la zona de estudio.

Al igual que en los anteriores casos, el uso de los SIGs tuvo una contribución significativa en la interpretación de los niveles de mercurio (Hg) en tejido de pescado fresco (Carpa común) del lago de Chapala (**Stong et al. 2013**). Los peces fueron obtenidos de 27 sitios de muestreo a lo largo del lago, tomando muestras de tejido muscular para su análisis por Espectroscopia de Absorción Atómica con vapor frío, previa digestión ácida. Los datos de este estudio pudieron representarse a través una imagen elaborada por SIGs, lo que permitió visualizar los probables gradientes de concentración del Hg asociado a los peces en el lago. La zona oeste del lago concentra los peces con menores niveles de mercurio, mientras que en la parte a central se ubicaron aquellos con concentraciones intermedias, y de la zona sureste a la parte central norte se localizaron los peces con concentraciones más elevadas. Esta última situación coincide con la posición de la desembocadura del río Lerma, la cual se sabe es una de las principales fuentes antropogénicas de contaminantes del lago.

En 2015 el uso de los SIGs permitió la evaluación del impacto de las actividades antropogénicas en la Cuenca del río Tecolutla (Veracruz) para un periodo de 16 años, esto debido a que esta zona es considerada una de las 110 regiones hidrológicas prioritarias identificadas por la CONABIO en nuestro país (**Osuna-Osuna et al. 2015**). El análisis de los datos indica una tendencia al incremento de superficies dedicadas a actividades humanas de agricultura

y uso urbano. En consecuencia, se observó una disminución de superficies con coberturas naturales, específicamente de bosques y selvas. Es de destacar que los resultados de este estudio son de utilidad para futuros planes de desarrollo ambiental, planes de ordenamiento territorial, y en la planeación de estrategias de conservación de los recursos naturales en la cuenca.

Una de las aplicaciones más recientes de los SIGs en la UTAM es el empleo del Solar Analyst (SA), un modelo reciente del solarflux e integrado como un módulo del ArcGis 9. Este sistema fue diseñado para estimar la radiación solar global durante intervalos de cielo bajo condiciones despejadas (temporada de estiaje). Esta herramienta de estimación fue aplicada a un estudio cuyo objetivo fue cuantificar la irradiación potencial que puede incidir sobre el área de la ZMG (Díaz et al. 2017). Ello gracias a la identificación de los parámetros atmosféricos de difusión y transmisividad que caracterizaron el comportamiento de la irradiación en un ciclo anual, y proponiendo así la implementación de criterios topográficos y estadísticos, y técnicas de análisis para determinar la representatividad espacial de los registros de una estación meteorológica, compensando de esta forma la carencia de una robusta red de monitoreo.

A partir de estimaciones de irradiación potencial y su relación con la precipitación, se calculó la proporción de energía atenuada a causa de la nubosidad asociada al temporal de lluvias. Algunos de los resultados más destacados de dicho estudio son, el modelo SA puede predecir

satisfactoriamente (91 %) la variación media diaria de la radiación solar medida cuando predominan las condiciones de cielo despejado (estación Colomos de la Comisión Nacional del Agua). En los días soleados con cielo despejado de la temporada de lluvias este valor alcanzó un 96 % (Figura 6.7).

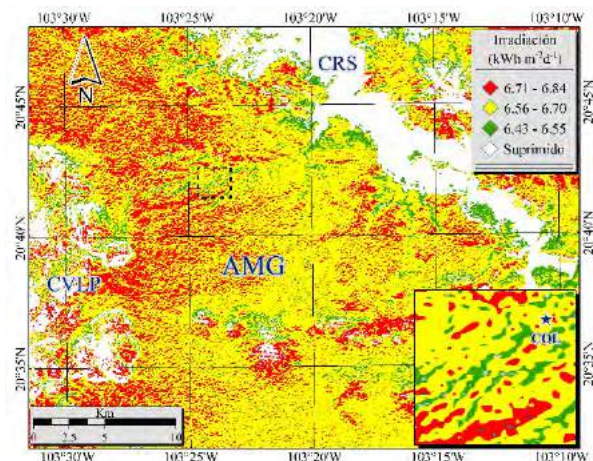


Figura 6.7. Mapa de la distribución de la irradiación potencial en la ZMG generado mediante la aplicación de los SIGs.

Así mismo, la proporción de irradiación atenuada por las condiciones de cielo nublado en la temporada húmeda (a excepción de septiembre) fluctuó entre el 15 y 32%. Estas proporciones son semejantes a las estimaciones de radiación solar reflejada hacia el espacio (23%), generadas por la presencia de densas capas de nubes (Fu, 2003; Trenberth et al., 2009).

Servicios Tecnológicos Especializados

La UTAM además de ejecutar proyectos de I+D+i, también tiene la capacidad de llevar a cabo distintos *Servicios Tecnológicos Especializados* que permitan la solución de problemas específicos de sectores como el gubernamental e iniciativa privada. A continuación se enlistan estos servicios especializados:

- ✓ Potencial bioquímico metanogénico de agua residual y de residuos.
- ✓ Asesorías para el diseño e implementación de PTAR.
- ✓ Análisis por cromatografía de iones (aniones y cationes).
- ✓ Análisis de materia orgánica medida como carbón orgánico total.
- ✓ Estudios de rehabilitación y diseño de PTAR.
- ✓ Toxicología ambiental y molecular.
- ✓ Requisitos ambientales para ecoetiquetado.
- ✓ Determinación de toxicidad aguda en agua (*D. magna* y *V. fischeri*).
- ✓ Producción de enzimas a partir de residuos agroindustriales.
- ✓ Estudios de manejo integral del agua.
- ✓ Indicadores de sustentabilidad en comunidades y municipios.
- ✓ Análisis fisicoquímicos de abonos orgánicos.
- ✓ Estudios de impacto ambiental.
- ✓ Huella de carbono.

- ✓ Estudios técnico-justificativos para indicaciones geográficas y denominaciones de Origen.
- ✓ Caracterización de emisión de malos olores.
- ✓ Determinación de concentraciones de partículas (PM_{2.5} y PM₁) en el aire ambiente.

Infraestructura y equipamiento

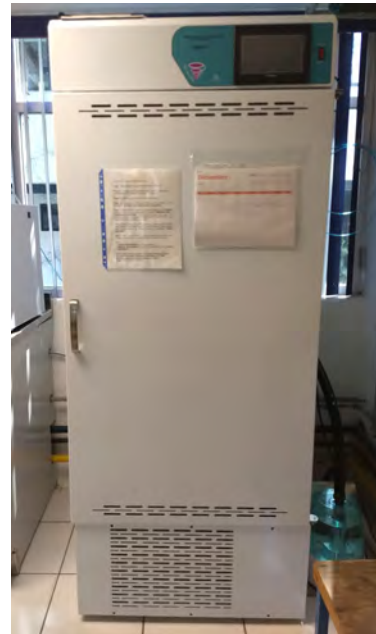
La UTAM se ubica en el edificio Unidad de Investigación Mario Molina, en la sede Guadalajara del CIATEJ. En este edificio se encuentran el Laboratorio de Química Ambiental y el Laboratorio de Biotecnología Ambiental. Además de estos espacios, la UTAM cuenta con un Laboratorio de Tratamiento de Aguas. En estos laboratorios se ubica todo el equipo e insumos que se han podido adquirir gracias al financiamiento derivado de los proyectos ejecutados, el cual al mismo tiempo se emplea para llevar a cabo los servicios especializados. En esta sección sólo mencionaremos el equipo mayor de la UTAM.

Equipo mayor

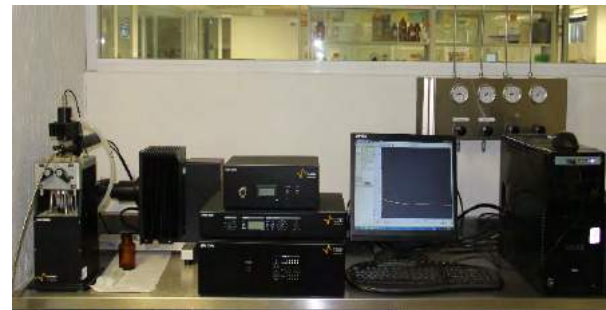
Cromatógrafo de gases. Para el análisis de la composición de biogás en la determinación de metano y bióxido de carbono.



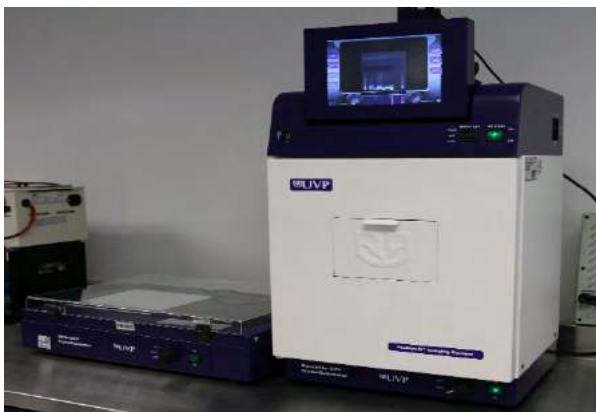
Cámara bioclimática refrigerada con fotoperiodo. Equipo empleado en el cultivo de microorganismos.



Sistema de flujo detenido o stopped flow. Para el análisis de cinética rápida de reacciones.



Transluminador UV. Se emplea para electroforesis en gel, y para fluorescencia de ADN y proteínas.



Cromatógrafo de iones. Equipo analítico para la determinación de especies de aniones y cationes en muestras líquidas.



Reactor o Digestor Anerobio. Equipo usado para llevar a cabo pruebas de tratabilidad de las aguas residuales.



Analizador TOC-L. Equipo para determinar el contenido de materia orgánica medida como carbón orgánico total, en muestras líquidas.



Sistema automático de potencial de metano. Equipo que permite medir la generación de metano bajo condiciones controladas.



Sistema de digestión por microondas. Equipo para la obtención de muestras por digestión ácida para su análisis de composición.



Equipo de generación de ozono. Para pruebas oxidación avanzada en aguas residuales y otras matrices.



Microscopio. Binocular con fototubo para contraste de fase y campo iluminado.



La información descrita en este capítulo resalta las capacidades de la UTAM de desarrollar estudios de investigación en otras temáticas de corte ambiental y productivo, como es el caso de proyectos de *Denominación de Origen*, así como de servicios especializados dirigidos a los distintos sectores productivos, cuyos resultados han logrado generar impactos positivos en la sociedad. Estos impactos van desde la

generación de información básica sobre el conocimiento del comportamiento de los contaminantes de la atmósfera, hasta aquellos relacionados con la inclusión de nuevas localidades a las *Denominaciones de origen* ya existentes, lo que se espera detone el crecimiento económico y un bienestar social de sus poblaciones.

Asimismo, las actividades de investigación de cada uno de los proyectos, estudios y servicios tecnológicos especializados, sólo son posibles con el apoyo de la infraestructura y equipo ya referido, el cual ha sido adquirido con recursos derivados principalmente de los proyectos, tanto de fondos federales, estatales y privados.

Referencias

Amador, M. O., Bazán, T.S., Villa, F.S.A., Villalobos, P.R., Bravo, C.J.L., Munive, C.Z., Hernández, M.L., Saldarriaga, N.H. & Murillo, T.M.A. (2013). Opposing seasonal trends for polycyclic aromatic hydrocarbons and PM10: Health risk and sources in southwest Mexico City. *Atmospheric Research*, 122: 199-212

Barradas, G.A., Murillo, T.M.A., Díaz, T.J.J., Hernández, M.L., Saldarriaga, N.H., Delgado, S.J.M. & López, L.A. (2017). Occurrence and Potential Sources of Quinones Associated with PM2.5 in Guadalajara, Mexico. *Atmosphere*, 8: 140-153

Barradas, G.A. (2016). Niveles ambientales y fuentes potenciales de emisión de quinonas aromáticas asociadas con las PM2.5 del área Metropolitana de Guadalajara. Tesis de Maestría. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Jalisco-México. Pp. 114

Campos, R.A.A., Saldarriaga, N.H., Hernández, M.L., Murillo, T.M.A. & Limón, S.Ma.T. (2009). Estudio preliminar de compuestos tóxicos en aire ambiente en la zona Metropolitana de Guadalajara. 2018, Julio 15, de INE-CIATEJ Sitio web:

http://www.ine.gob.mx/descargas/dgcenica/2009_estudio_cenica_comp_toxicos_zmg.pdf

Chung, A., Herner, J.D. & Kleeman, M.J. (2001). Detection of alkaline ultrafine atmospheric particles at Bakersfield, California. *Environment Science and Technology*, 35: 2184-90

Declaratoria General de Protección de la denominación de Origen Charanda (2003). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. *Diario Oficial de la Federación*, DOF-27-08-2003, 1-3

Declaración de Protección de la denominación de Origen Mezcal (1994). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. *Diario Oficial de la Federación*, DOF-28-11-1994. Congreso de la Unión, 1-3

Declaración de Protección de la denominación de Origen Yahualica. (2018). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. *Diario Oficial de la Federación*, DOF-16-03-2018, 1-9

De Smith, M., Goodchild, M., & Longley, P. (2007). *Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*. UK: press Wichelsea

Díaz, T.J.J., Hernández, M.L., Murillo, T.M.A., León, B.E., López, L.A., Suárez, P.C., Aviña, R.E., Barradas, G.A. & Ojeda, C.V. (2017). Assessment of the modulation effect of rainfall on solar radiation availability at the Earth's Surface. *Meteorological Applications*, 24: 180-190

Flores, A.A. (2012). Determinación de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Oxigenados en las Aeropartículas finas de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Guadalajara, Jalisco-México. Pp. 95

Ghio, A.J., Stoneheurner, J., McGee, J.K., & Kinsey, J.S. (1999). Sulfate content correlates with iron concentration in ambient air pollution particles. *Inhalation Toxicology*, 11: 293-307

Giovannucci, D., Josling, T., Kerr, W., O'Connor, B., & Yeung, M.T. (2009). *Guía de indicaciones geográficas. Vinculación de los productos con su origen*. Ginebra, Suiza. Centro de comercio internacional. Pp. 248

Hernández, M.L., Saldarriaga, N.H., Carbajal, R.P., Cosío, R.R. & Esquivel, H.B. (2010a). Ionic species associated with PM2.5 in the City of Guadalajara, Mexico during 2007. *Environmental Monitoring and Assessment*, 161: 281-293

Hernández, M.L., Saldarriaga, N.H., Carbajal, R.P., Murillo, T., M.A., Limón, S.Ma.T. & López, L.A. (2010b). Presence of the Most Abundant Ionic Species and Their Contribution to PM2.5 mass, in the City of Guadalajara, Jalisco

(Mexico). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 85: 632-637

Hernández, M.L., Saldarriaga, N.H., Murillo, T.M.A., Amador, M.O., López, L.A. & Waliszewski, A.S. (2011a). Determination of Black Carbon in Fine Particles Using a Semi-Continuous Method at Two Sites in the City of Guadalajara, Mexico, During 2007. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 87: 336-342

Hernández, M.L., Murillo, T.M., Ramírez, M.M., Colunga, U.E., de la Garza, R.I. & Saldarriaga, N.H. (2011b). Enrichment Factor and Profiles of Elemental Composition of PM 2.5 in the City of Guadalajara, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 87: 545-549

IMPI-SRE. (2016). *Denominaciones de origen. Orgullo de México*. Ciudad de México, México. Pax México. Pp. 243

Ley de la Propiedad Industrial (2016). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. *Diario Oficial de la Federación*, DOF-01-06-2016, 1-80

Limón, S.Ma.T., Carbajal, R.P., Hernández, M.L., Saldarriaga, N.H., López, L.A., Cosío, R.R., Arriaga, C.J.L. & Smith, Winston. (2011). Black carbon in PM2.5, data from two urban sites in Guadalajara, Mexico during 2008. *Atmospheric Pollution Research*, 2: 358-365

Matheron, G. (1969). *Curso de Geoestadística, Los Cuadernos del Centro de Morfología Matemática de Fontainebleau* (traducción). Julio 13, 2017, de CGEMP Sitio web: http://cg.ensmp.fr/bibliotheque/public/MATH_ERON_Ouvrage_00537.pdf

Modificación a la Declaración de Protección de la denominación de Origen Mezcal, para la inclusión de 29 municipios del estado de Michoacán. (2012). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. *Diario Oficial de la Federación*, DOF-22-11-2012, 1-3

Murillo, T.M.A., Saldarriaga, N.H., Hernández, M.L., Campos, R.A., Cárdenas, G.B., Ospina, N.J.E., Cosío, R.R., Díaz, T.J.J. & Smith, W. (2015). Potential Sources of Trace Metals and Ionic Species in PM2.5 in Guadalajara, Mexico: A Case Study during Dry Season. *Atmosphere*, 6: 1058-1070

Modificación a la Declaración de Protección de la denominación de Origen Mezcal, para la inclusión del municipio de San Luis de la Paz, del estado de Guanajuato. (2015). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. *Diario Oficial de la Federación*, DOF-02-10-2015, 1-4

Modificación a la Declaración de Protección de la denominación de Origen Mezcal, para la inclusión de 115 municipios del estado de Puebla. (2015). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. *Diario Oficial de la Federación*, DOF-24-12-2015, 1-5

Modificación a la Declaración de Protección de la denominación de Origen Mezcal, para la inclusión de 23 municipios del estado de Morelos. (2018). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. *Diario Oficial de la Federación*, DOF-09-08-2018, 1-8

Modificación a la Declaración de Protección de la denominación de Origen Mezcal, para la inclusión de 7 municipios del estado de Aguascalientes. (2018). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. *Diario Oficial de la Federación*, DOF-08-08-2018, 1-10

Modificación a la Declaración de Protección de la denominación de Origen Mezcal, para la inclusión de 15 municipios del Estado de México. (2018). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. *Diario Oficial de la Federación*, DOF-08-08-2018, 1-8

Moral, G.F.J. (2004). Aplicaciones de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*, 13(1): 78-86

Norma Oficial Mexicana (NOM) 025-SSA1-1993. "Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del air ambiente, con respecto a las partículas menores a 10 micras (PM10). Valor permisible para la concentración de partículas menores a 10 micras (PM10) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. *Diario Oficial de la Federación*, DOF-23-12

Norma Oficial Mexicana (NOM) 025-SSA1-2014. "Salud Ambiental. Valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación. *Diario Oficial de la Federación*, DOF-20-08-2014

Ojeda, C.V., López, L.A., Hernández, M.L., Murillo, T.M.A., Díaz, T.J.J., Hernández, P.I.Y., del Real, O.J. & León, B.E. (2018). Atmospheric Distribution of PAHs and Quinones in the Gas and PM1 Phases in the Guadalajara Metropolitan Area, Mexico: Sources and Health Risk. *Atmosphere*, 9: 137-157

Ordoñez, C. & Martínez, A.R. (2003). *Sistemas de Información Geográfica*. Ciudad de México: Alfaomega. Pp. 219

Panduro, R.Ma.G. (2015). Evaluación de la calidad del agua ante la enfermedad renal crónica en la zona oriente de Michoacán. Tesis de Maestría. PICYT-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Jalisco-México

PROFECO. (s/año). Rosete, G. F. *Productos mexicanos con denominación de origen*. Recuperado en febrero 1, 2017, de Sitio web: http://www.profeco.gob.mx/revista/publicaciones/adelantos_04/denom_orig_ene_04.pdf

Saldarriaga, N.H.A, Hernández, M.L., Ramírez, M.M., Carbajal, R.P., Cosío R.R. & Esquivel, H.B. (2009). Characterization of trace metals of risk

to human health in airborne particulate matter (PM2.5) at two sites in Guadalajara, Mexico. *Journal of Environmental Monitoring*, 11: 887-894

Saldarriaga, N.H., Hernández, M.L., Murillo, T.M., López, L.A. & Ramírez, M.M. (2011). Elemental Contribution to the Mass of PM2.5 in Guadalajara City, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 86: 490-494

Saldarriaga, N.H., Waliszewski, S., Murillo, T.M., Hernández, M.L., de la Garza, R.I., Colunga, U.E. & Cuevas, O.R. (2012). Acidic Gases and Nitrate and Sulfate Particles in the Atmosphere in the City of Guadalajara, México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 88: 730-734

Saldarriaga, N.H., Hernández, M.L., Sánchez, S.E., Ramos, Q.F., Ortíz, H.L., Morales, C.R., Alarcón, G.V. & Ramírez, J.S. (2014). Ionic Composition in Aqueous Extracts from PM2.5 in Ambient Air at the City of Cuernavaca, México. *Journal of Environment Protection*, 5: 1305-1315

Saldarriaga, N.H., López, M.R., Murillo, T.M., Hernández, M.L., Ospina, N.E., Sánchez, S.E., Waliszewski, S. & Montiel, P.S. (2015). Analysis of PAHs Associated with Particulate Matter PM2.5 in Two Places at the City of Cuernavaca, Morelos, Mexico. *Atmosphere*, 6: 1250-1270

CAPÍTULO VII PRODUCCIÓN CIENTÍFICA



Bull Environ Contam Toxicol (2010) 85:632–637
DOI 10.1007/s00128-010-0140-8

Presence of the Most Abundant Ionic Species and Their Contribution to PM_{2.5} Mass, in the City of Guadalajara, Jalisco (Mexico)

Leonel Hernández-Mena · H. Saldarriaga-Noreña ·
P. Carbajal-Romero · M. A. Murillo-Tovar ·
Ma. T. Limón-Sánchez · A. López-López

Publicaciones (artículos, memorias en extenso, capítulos de libros)

Uno de los principales indicadores de la actividad científica es la generación de publicaciones. Estas pueden ser artículos nacionales o internacionales, ya sea arbitrados o indizados, memorias en extenso derivadas de participaciones en congresos nacionales e internacionales, así como los capítulos de libros. La Tabla 7.1 muestra la productividad total anual en este rubro durante el periodo 2008-2017. Se observa un incremento de la productividad los primeros cinco años, pasando de las 9 a las 25 publicaciones; a partir del 2012 se aprecia una estabilización en el número de publicaciones, oscilando entre las 20 y 25. Durante el 2015 se consiguió un ligero incremento respecto al anterior intervalo, logrando la generación de casi 30 publicaciones.

Tabla 7.1 Productividad de la UTAM sobre publicaciones

Periodo	No. Publicaciones*
2008	9
2009	12
2010	15
2011	22
2012	25
2013	24
2014	22
2015	29
2016	23
2017	18

Incluye artículos indexados y arbitrados, memorias en extenso y capítulos de libros.

La figura 7.1 muestra estos resultados anuales, pero desagregados por tipo de publicación. Se aprecia la variación de cada tipo de indicador en el periodo de análisis y se puede concluir que los artículos y las memorias en extenso son las de

contribución mayor al número total de las publicaciones. El ligero descenso de las cifras de estos indicadores de productividad científica en 2017, puede ser por explicado en parte por los acontecimientos ya descritos en el Capítulo I de este documento.

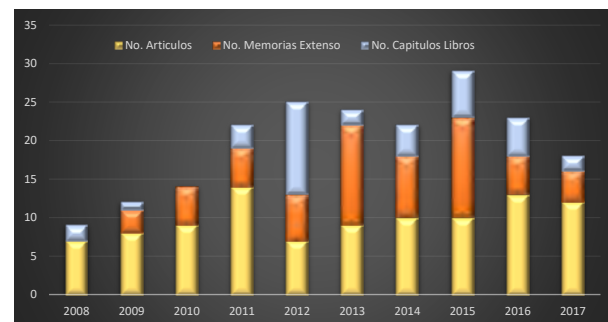


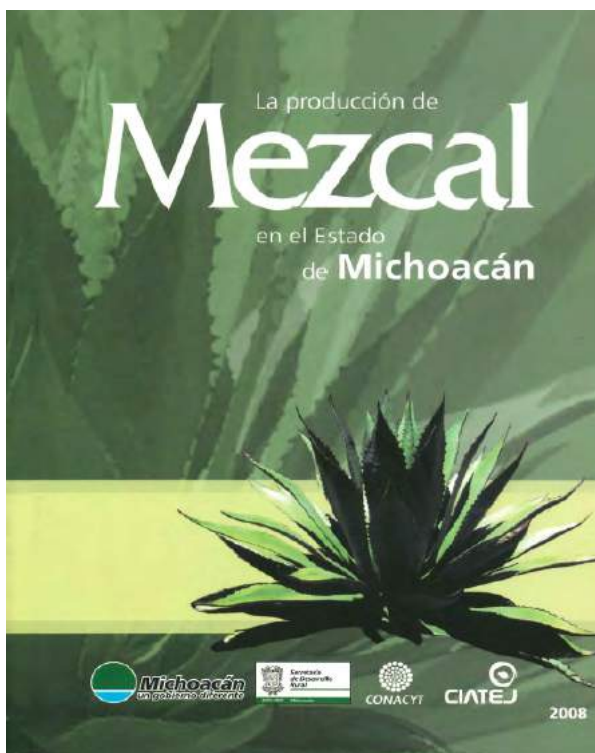
Figura 7.1. Información desagregada del número de publicaciones generadas por la UTAM durante el periodo 2008-2017.

Algunas de las publicaciones internacionales recientes que podemos mencionar, son:

1. García-Depraect O., Gómez-Romero J., León-Becerril E. & López-López A. (2017). A novel biohydrogen production process: Co-digestion of vinasse and Nejayote as complex raw substrates using a robust inoculum. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(9): 5820-5831.
2. Sanchez, L.A.L., Dendooven, L., Marino, M.E.N., Dávila, V.G., Hernández, C.L., Arenas, M.V. & Contreras, R.S.M. (2017). Presence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in soil regularly irrigated with vinasses. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(4), 1116-1129
3. de Anda, J. & Harvey, S. (2016). Searching for a sustainable model to manage and treat wastewater in Jalisco, Mexico *International Journal of Development and Sustainability*, 5 Number (6): 278-294

Libros publicados

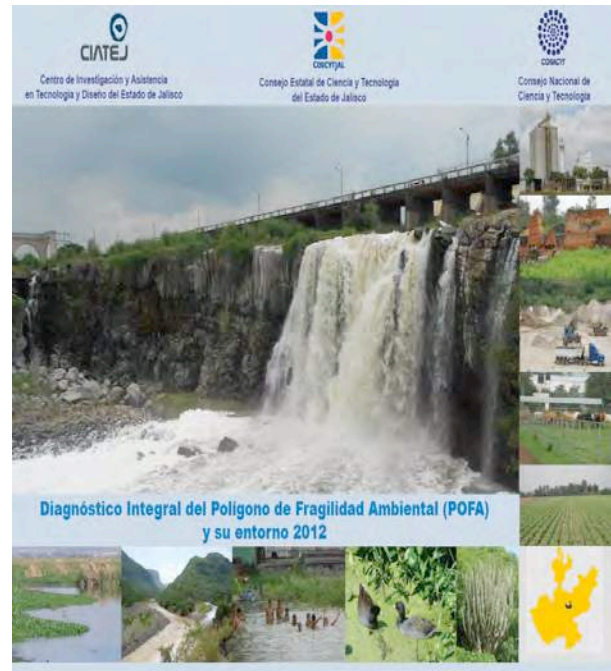
El esfuerzo y complejidad para lograr la publicación de un libro es mayor. Por lo que sus cifras como indicador son menores. No obstante, del periodo 2011 al 2017 en la UTAM al menos se ha publicado un libro por año. A continuación se hace una breve reseña de cada uno de estos libros.



“El Mezcal es una bebida alcohólica destilada que se obtiene a partir de la fermentación del jugo de diversos agaves. En México se produce oficialmente en los estados de Oaxaca, Guerrero, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato y Tamaulipas; sin embargo, esta bebida también se elabora tradicionalmente en algunas regiones de Sinaloa, Jalisco, Puebla y Michoacán sin que estos tengan reconocimiento por la exclusión de sus territorios dentro de la región geográfica Denominación de Origen Mezcal, pese a la calidad y exquisitez de algunos mezcales que se producen en ellos. Esta obra, hace referencia a los aspectos botánicos, geográficos, sociales, culturales, técnicos y económicos involucrados en el proceso de su elaboración, con la finalidad de contribuir a su difusión, fortalecer la consolidación de la cadena productiva Agave-Mezcal y promover la producción de esta bebida en el estado de una manera legal y sustentable.” Año de publicación: 2008. Editorial: Gobierno de Michoacán-CIATEJ. Coordinador Juan Gallardo Valdez. ISBN: 978-970-9714-02-9.



“En este libro, se presenta un estudio a profundidad de la transferencia y reactividad del ozono por la vía molecular y radical de los colorantes de tipo *azo* utilizando un reactor gas-líquido. Los parámetros de transferencias del reactor y la cinética de degradación de los colorantes fueron obtenidos bajo diferentes condiciones de tratamiento. Adicionalmente, diversos factores que influyen en la velocidad y el mecanismo de oxidación de los colorantes son analizados, tales como la adición de t-butanol (secuestrador de radicales) y de peróxido de hidrógeno (promotor de radicales). Esta alternativa de tratamiento por ozonación se presenta como una respuesta técnica y efectiva a un problema ambiental que deriva de la descarga al medio ambiente de las aguas residuales de la industria textil.” Año de publicación: 2011. Editorial: Editions Universitaires Europeennes. Autor Dr. Alberto López López. ISBN: 978-613-1-58658-3.



“Como consecuencia del crecimiento urbano acelerado, de las actividades económicas e industriales y del cambio de uso del suelo, el POFA manifiesta la degradación paulatina del hábitat, acumulada por más de 40 años. Se presenta una descripción de la condición ambiental actual del POFA, integrando estudios e información generada desde 1980, por dependencias gubernamentales, instituciones educativas y centros de investigación, sobre el POFA y la Cuenca El Ahogado. Desde esta perspectiva el grupo de trabajo multidisciplinario participante en el proyecto presenta un análisis e interpretación basado en la información generada por diversas dependencias y mediante trabajo de campo utilizando indicadores ambientales que permiten describir la situación real y posibles soluciones de la problemática del POFA.” Año de publicación: 2012. Editado por CIATEJ. ISBN: 978-607-95885-2-6.

Editores José de Anda Sánchez y Fernando A. González Farías. ISBN: 978-3-607-8074-18-1.

CALIDAD DEL AGUA

EN LA PRESA DE AGUAMILPA,
NAYARIT, MÉXICO.



EDITORES:
JOSE DE ANDA SÁNCHEZ Y FERNANDO A. GONZÁLEZ FARIAS

“Este libro sobre la presa de Aguamilpa y su embalse es el resultado de varios años de estudio de científicos especialistas en balance hídrico en embalses, hidrología superficial, calidad del agua y desarrollo de modelos. Al entender cómo funciona esta presa y su embalse podrá ayudar a ampliar otros usos tales como el suministro de agua para la población o el fomento de las actividades recreativas. Una de las características más importantes de este libro es que incluye la modelación de sistemas complejos. Con la introducción de las herramientas de modelado, se puede desarrollar un sistema de soporte para la toma de decisiones lo cual ayudaría a los administradores del recurso a tomar las mejores decisiones relacionadas con la administración de los recursos hídricos.” Año de publicación: 2013.

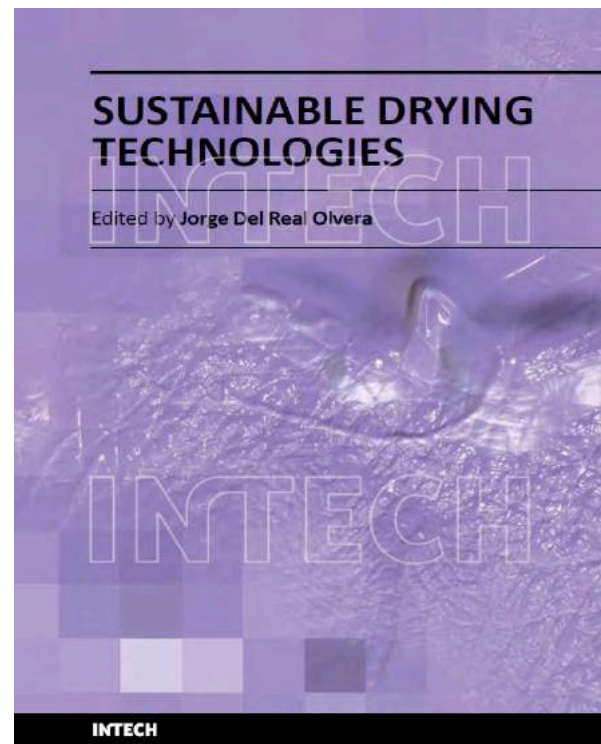


“La dificultad más importante que exhiben los reactores de lecho fluidizado gas-sólido, se localiza en representar adecuadamente la interacción entre la cinética y la hidrodinámica, ya que muchas veces es tal la complejidad que se hace difícil interpretar el desarrollo adecuado de algunas reacciones químicas, cuando se toman en cuenta ambas características. Por tal motivo, en este libro se optó por aislar la parte hidrodinámica del problema para su estudio, comparando los resultados experimentales con los de los modelos teóricos clásicos por excelencia, el propuesto por Davidson y Harrison (teoría de las dos fases) y el propuesto por Peters y colaboradores.” Año de publicación: 2014. Editorial: Publicia. Editado por Dr. Jorge del

Real Olvera y Richard S. Ruíz Martínez. ISBN:
978-3-639-55639-1.



“La información presentada en el libro es particular e innovadora, pues es la base del diagnóstico y la metodología utilizada en los Modelos de Gestión Ambiental para atender las necesidades de los principales sectores productivos del estado de Jalisco, como son el industrial, comercial, agropecuario y de servicios. La finalidad es asegurar el mantenimiento y la mejora en el cumplimiento normativo ambiental mediante los modelos de gestión ambiental y desarrollar procesos de autorregulación para acatar lo dispuesto en el Programa de Cumplimiento Ambiental Voluntario de la SEMADET.” Año de publicación: 2015. Editado por CIATEJ. ISBN: 978-607-96619-7-7.



“Actualmente la sustentabilidad es un componente clave en muchos procesos de producción, al resguardar los recursos naturales y reservas energéticas de las futuras generaciones. El objetivo principal de este libro fue abordar el estado del arte y las futuras directrices en cuanto a tecnologías de secado sustentable. Este documento interdisciplinario y exhaustivo, consta de cinco capítulos, los cuales abarcan desde una revisión de las tendencias en tecnologías de secado sustentables para el desarrollo de alimentos funcionales, secado de jugo a través del sistema de secado por aspersión, termoestabilidad de secado en frío hasta el secado mediante evaporación del carbón de bajo rango.” Año de publicación: 2016.

Editorial: InTech. Editado por Dr. Jorge del Real Olvera. ISBN: 978-953-51-2566-2.



“En este breviario Mezcalero, se compila toda una serie de vocablos, términos, palabras, tecnicismos, arcaísmos y expresiones coloquiales que forman parte del caló, o la sabiduría popular asociadas a los procesos de elaboración del mezcal en la diferentes regiones del país, desde la obtención de la materia prima, hasta su elaboración basada en una serie de procesos en los cuales se emplean técnicas ancestrales, herramientas manuales e implementos que se han incorporado gracias a los conocimientos y prácticas de las comunidades rurales, lo que reflejan el ingenio y la sabiduría popular que se ha desarrollado en torno a esta icónica bebida. En él se describen los

conceptos asociados a su elaboración, producción, regulación y consumo, así como los implementos, instrumentos, equipos y herramientas, utilizados en sus procesos, algunas de estas palabras no se encuentran normalmente en un diccionario común.” Año de publicación: 2017. Editado por CIATEJ, AGARED. Autor: Juan Gallardo Valdez. ISBN: 978-607-97421-7-1.

Proyectos de investigación ejecutados

El quehacer de la UTAM consiste en ejecutar proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i), cuyos recursos económicos pueden provenir de los numerosos fondos públicos (de la federación y estados, incluso de municipios) o bien de recursos de la iniciativa privada.

Estos proyectos no sólo permiten generar conocimiento o resolver algún problema esencial para un sector productivo específico, una problemática de índole ambiental, o para la sociedad en general, sino que además aportan los recursos necesarios para el crecimiento de la infraestructura y equipo de la UTAM, para la adquisición de insumos necesarios para pruebas y análisis en campo y laboratorio, para actividades científicas de difusión y divulgación de su personal de investigación, así como para la formación de recursos humanos a nivel Licenciatura, o bien a niveles especializados como en el caso de los recursos humanos de Maestría y Doctorado.

Como cifras de este indicador, año con año se contabilizaron los proyectos nuevos (asignados en el año indicado) y aquellos que vienen ejecutándose de al menos un año atrás. Puede apreciarse como en sus inicios la UTAM arrancó con dos proyectos en 2008, pasando a un ligero incremento en su número en los siguientes

cuatro años. A partir de 2013 y hasta 2016 se logró ejecutar al mismo tiempo entre 9 y trece proyectos. Para 2017 ocurrió un descenso en los números de este indicador. Estas cifras pueden observarse en la Figura 7.2.

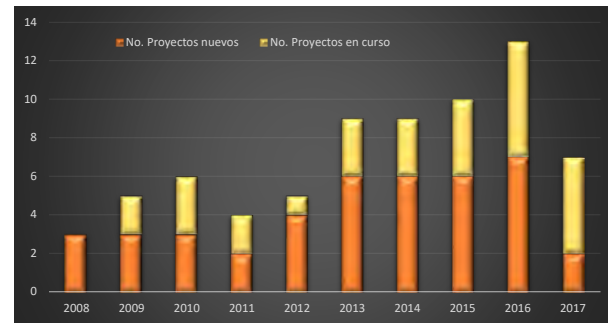


Figura 7.2. Cifras de los proyectos ejecutados durante los últimos años en la UTAM.

Recursos humanos formados

En cuanto a los recursos humanos formados la Figura 7.3 permite observar las cifras anuales de titulación, y al mismo tiempo apreciar el cambio según su grado de formación. En 2008 la mayoría de los estudiantes en la UTAM correspondían a nivel Licenciatura, mientras que en 2017 los de Maestría continuaron siendo más numerosos (Figura 7.4). A lo largo de los años se ha logrado formar a casi diez estudiantes de Doctorado, en promedio uno por año.

Interinstitucional en Ciencia y Tecnología (PICYT), así como del posgrado para Maestría y Doctorado en Innovación Biotecnológica, y en ambos el CIATEJ forma parte de ellos. Además, la UTAM recibe a estudiantes adscritos a otras instituciones educativas y es aquí donde llevan a cabo algunas actividades relacionadas con sus respectivos proyectos de investigación.

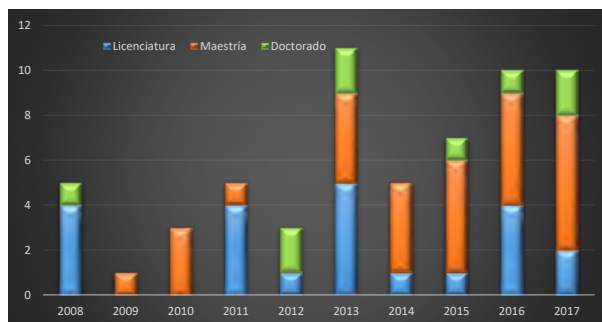


Figura 7.3. Comportamiento de los recursos humanos formados anualmente.

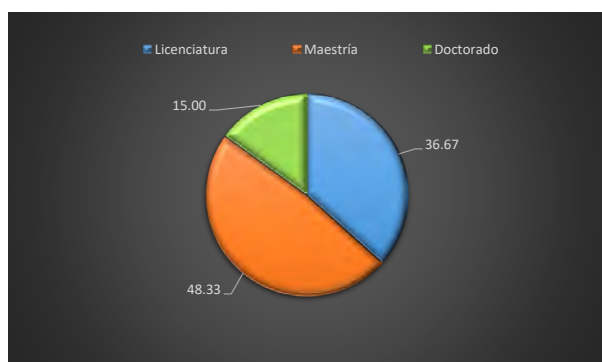


Figura 7.4. Comportamiento de los recursos humanos formados, con un total de sesenta en diez años.

Es importante mencionar que la UTAM forma parte de las áreas terminales de especialización de los posgrados para Maestría y Doctorado

Patentes

Los investigadores de la UTAM han logrado patentar algunas invenciones derivadas del desarrollo de proyectos de investigación, o bien otras invenciones actualmente están en proceso de obtener la patente. A continuación se mencionan las patentes otorgadas y en solicitud, así como algunas de sus ventajas.

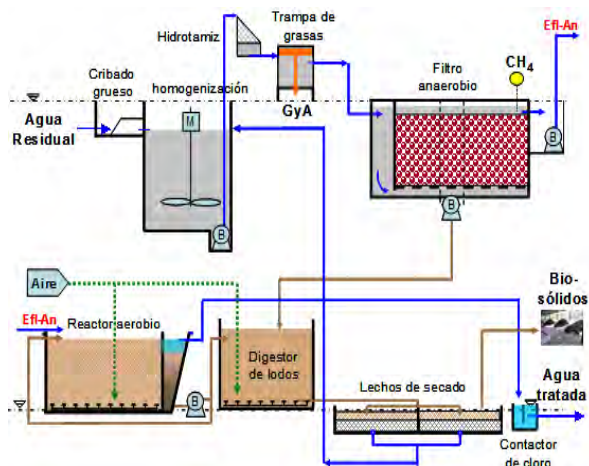
Planta y proceso de tratamiento para aguas residuales de rastro.

Patente: 340151

No. Exp.: MX/a/2009/014232

Ventajas:

- ✓ Costos de inversión y operación 50% menores con respecto a las PTAR convencionales.
- ✓ Coadyuva a reducir los problemas de impacto ambiental y de salud pública (cumplimiento de: NOM-001-ECOL-1996 y NOM-002-ECOL-1996).



Inóculo Microbiano para aumentar el rendimiento de cultivos.

Solicitud de Patente: MX/a/2015/015919

Ventajas:

- ✓ Mayor disponibilidad de nutrientes.
- ✓ Solubilización de fósforo.
- ✓ Producción de fitohormonas y sideróforos.
- ✓ Fijación y oxidación de nitrógeno a formas disponibles.
- ✓ Mayor altura y rendimiento.

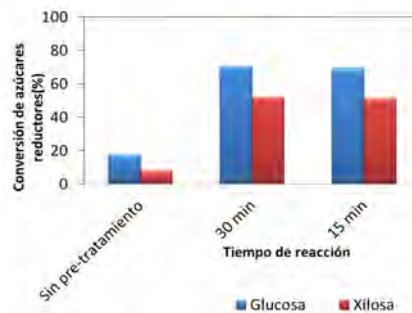


Pre-tratamiento de residuos lignocelulósicos con ozono para incrementar el rendimiento de la sacarificación de azúcares reductores

Solicitud de Patente: MX/a/2015/014521

Ventajas:

- ✓ Recuperación mayor al 80% de azúcares reductores (glucosa y xilosa).
- ✓ No genera compuestos inhibitorios durante el pre-tratamiento con ozono.



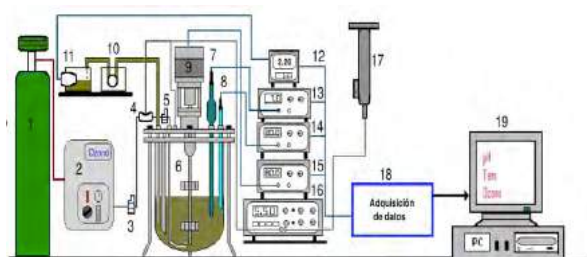
Proceso para degradar compuestos recalcitrantes presentes en el agua.

Patente: 315205

No. Exp.: MX/a/2007/008801

Ventajas:

- ✓ Efectivo en la oxidación de: fármacos, esteroides, plaguicidas, retardantes de flama, polifenoles, etc.
- ✓ Oxidación con ozono, técnica y económicamente viable.



El contenido de este capítulo resume en términos generales la productividad de la UTAM en los últimos diez años. Aunque el nivel de complejidad para concretar cada uno de los indicadores es distinto, en la mayoría de ellos se han obtenido incrementos en sus cifras.

Sistema y proceso modular para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas.

Patente: MX/a/2010/014332

Folio: **MX/E/2010/081140**

Ventajas:

- ✓ Costos de Inversión y operación mínimo con respecto a las PTAR convencionales.
- ✓ Utiliza materiales nacionales y comerciales.
- ✓ Capacitación mínima para operar la PTAR.
- ✓ Reducción de los problemas de impacto ambiental y de salud pública cumpliendo la NOM-001-ECOL-1996.
- ✓ Genera subproductos con valor agregado.



**CIATEJ,
Más de diez años en
investigación ambiental**

